

TOEGEPASTE GEOLOGIE EN HYDROGEOLOGIE

**ACTUALISERING VAN HET GRONDWATERSTROMINGSMODEL  
VAN DE SOKKEL EN ZIJN BEDEKKENDE LAGEN**

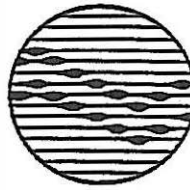
96/42



UNIVERSITEIT GENT

Laboratorium  
voor  
Toegepaste Geologie  
en  
Hydrogeologie

**Actualisering van het grondwater-  
stromingsmodel van de sokkel en zijn  
bedekkende lagen**



Geologisch Instituut  
Krijgslaan 281, S8  
B-9000 Gent

tel. 09/264 46 47  
fax 09/264 49 88

**Opdrachtgever**

Provinciaal Centrum voor Milieuonderzoek  
Provincie Oost-Vlaanderen

**Leiding: Prof. Dr. W. De Breuck**

**Studie en verslag: Prof. Dr. L. Lebbe  
Lic. M. Van Camp**

**Projectnummer: TGO 96/42  
Datum: september 1997**

# **Actualisering van het grondwaterstromingsmodel van de sokkel en zijn bedekkende lagen**

## **Inhoud**

<b>1. Inleiding</b>	<b>2</b>
<b>2. Eerste versie van quasi-drie-dimensionaal model</b>	<b>4</b>
2.1 Modelgebied	4
2.2 Eindig-verschil netwerk	4
2.3 Schematisatie van het modelgebied	4
2.4 Randvoorwaarden	5
2.5 Hydraulische parameters	6
2.6 Resultaten van modellering	6
2.7 Slotbeschouwingen bij de eerste versie van het mathematische model	7
<b>3. Bepaling van hydraulische parameters van de sokkel en zijn bedekkende lagen door middel van pompproeven</b>	<b>8</b>
3.1 Pompproeven in watervoerende laag gevormd door top van de sokkel	8
3.1.1 Inleiding	8
3.1.2 Resultaten van pompproeven in sokkel	8
3.2 Pompproeven in de watervoerende laag in de zanden van de Landen Groep	9
3.3 Bepaling van hydraulische parameters van afzettingen van de Ieper Groep te Elst	10
3.3.1 Lithostratigrafische opbouw en hydrogeologische schematisatie van het grondwaterreservoir	10
3.3.2 Stijghoogten op verschillende niveaus binnen het grondwaterreservoir.	11
3.3.3 Ingeschatte verticale Darciaanse stroomsnelheden en verticale doorlatendheden	11
3.3.4 Uitvoering van de drie pompproeven	13
3.3.5 Gezamenlijke interpretatie van het verticale stijghoogteverhang en van de drie pompproeven in de afzettingen van de Ieper Groep te Elst	14
<b>4 Actualisering van het grondwaterstromingsmodel</b>	<b>15</b>
4.1 Inleiding	15
4.2 Horizontale doorlatendheid en doorlaatvermogen van de sokkel	16
4.3 Horizontale doorlatendheid en doorlaatvermogen van de zanden van de Landen Groep	17
4.4 Horizontale doorlatendheid en doorlaatvermogen van de zandhoudende klei van het Lid van Moen	17
4.5 Verticale doorlatendheid en hydraulische weerstand van het ongespleten krijt en de klei van de Landen Groep	18
4.6 Verticale doorlatendheid en hydraulische weerstand van de klei van het Moen Lid, het Mont Héribu Lid en het Saint Maur Lid	19
4.7 Verticale doorlatendheid en hydraulische weerstand van de klei van het Aalbeke Lid	21
4.8 Verdere beschouwingen bij de parameterisatie van de afzettingen behorend tot de Formatie van Kortrijk	21
<b>5 Overzicht van simulaties met geactualiseerde model</b>	<b>23</b>
5.1 Inleiding	23
5.2 Resultaten van enkele simulaties	24
5.3 Voorlopig best passend scenario overeenkomstig alle hydrogeologische waarnemingen	25
5.3 Gevoeligheidsanalysen	27
5.4 Natuurlijke grondwaterstromingen	28



<b>6 Overzicht van de bestanden van de geactualiseerde versie van het numeriek model</b>	<b>30</b>
6.1 Inleiding	30
6.2 Bestanden met model parameters en hydraulische parameters	30
6.2.1 Bestanden voor het simuleren van de permanente stroming bij pumping	30
6.2.2 Bestanden voor het simuleren van de permanente natuurlijke grondwaterstroming	33
6.3 Uitvoeringsbestanden	34
6.3.1 Uitvoeringsbestand KD1KD2SO.EXE	34
6.3.2 Uitvoeringsbestand RMOSOI.EXE	35
6.3.3 Uitvoeringsbestand RMOSOA.EXE	35
6.3.3 Uitvoeringsbestand ISOSOK.EXE	35
<b>7 Overzicht van resterende hiaten in de kennis en voorstellen van toekomstig hydrogeologisch onderzoek</b>	<b>36</b>
7.1 Hydraulische kenmerken van de twee diepere watervoerende lagen	36
7.1.1 Watervoerende laag in top van sokkel	36
7.1.2 Watervoerende laag in de zanden van de Landen Groep	37
7.2 Hydraulische kenmerken van de slecht doorlatende lagen	37
7.2.1 Hydraulische doorlatendheid van de afzettingen van de Formatie van Kortrijk	38
7.2.2 Hydraulische kenmerken van lagen grenzend aan watervoerende laag in sokkeltop	38
7.3 Lijking door middel van een invers model	39
<b>Referenties</b>	<b>40</b>

## 1. Inleiding

De Bestendige Deputatie van de provincie Oost-Vlaanderen heeft in zitting van 23 januari 1997 beslist om de studie met betrekking tot de actualisering van het grondwaterstromingsmodel van de Paleozoïsche sokkel door het Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie te laten uitvoeren. Aan de hand van een gebruiksvriendelijk mathematische model moet het mogelijk zijn de evolutie van de stijghoogten ten gevolge van de grondwaterwinning in de twee diepe watervoerende lagen te evalueren.

De actualisatie van het bestaande model omvatte volgende werkzaamheden:

- de verzameling, evaluatie, interpretatie en verwerking van alle recente beschikbare gegevens vooral wat betreft de hydraulische parameters van de lagen;
- het aanpassen van de bestanden van het bestaande RMOQ3D-model aan de hand van de beschikbare gegevens;
- het uittesten van het model aan de hand van enkele winningen;
- het opstellen van een handleiding voor het gebruik van het model;
- het steekproefsgewijs toetsen van de berekende stijghoogtes aan de recente gemeten waarden.

In deze inleiding zal in het kort de hydrogeologische opdeling van de sokkel en zijn bedekkende lagen behandeld worden. Na deze opdeling wordt de problematiek van de exploitatie geschetst tezamen met een summiere beschrijving van het tot nu toe uitgevoerde hydrogeologisch onderzoek.

Onder Vlaanderen (Frans-, West- en Oost-Vlaanderen) komen twee lateraal continue halfafgesloten watervoerende lagen voor. De ondiepste wordt gevormd door de zanden van de Landen Groep terwijl de diepste voorkomt in de gespleten top van de sokkel. Op sommige plaatsen is de sokkel bedekt met krijtafzettingen van Turoon ouderdom die eveneens gespleten is en samen met de top van de sokkel de diepste watervoerende laag vormen. De krijtafzettingen van het Campaniaan zijn niet gespleten en vormen samen met de kleiige afzettingen van de Landen Groep de slecht doorlatende laag die beide watervoerende lagen van elkaar scheiden. Deze diepe watervoerende lagen zijn nagenoeg overal gescheiden van de freatische watervoerende laag door middel van een slecht doorlatende laag die gevormd wordt door de klei van de Formatie van Kortrijk. In het noordoosten van Vlaanderen komen naast beide beschreven halfafgesloten watervoerende lagen nog één of meerdere halfafgesloten watervoerende lagen voor.

Grote hoeveelheden water worden onttrokken uit beide halfafgesloten watervoerende lagen. Hierdoor daalt de stijghoogte van beide watervoerende lagen sterk sedert 1950 (De Ceukelaire et al., 1992). In de toekomst dreigt de stijghoogte op vele plaatsen onder de top van de watervoerende laag te zakken. Hierdoor zullen ofwel verder gebruik van de aangelegde putten onmogelijk worden of zal door een onaangepaste bouw van oude of nieuwe boorputten luchtbellen ontstaan in deze watervoerende lagen. Hierdoor zal de waterkwaliteit in deze lagen afnemen.

In deze context verzocht de Gemeenschapsminister van Leefmilieu, Waterbeleid en Onderwijs in 1986 het Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (LTGH) van de Rijksuniversiteit Gent (RUG) over te gaan tot het opstellen en het ijken van een hydrogeologisch mathematische model. Door dit model werd het belang aangetoond van de op- en neerwaartse stroming doorheen de bedekkende slecht doorlatende lagen in de waterbalans van de diepere watervoerende lagen. Het was echter onmogelijk

om door middel van ijking de hydraulische parameters van deze watervoerende laag en zijn bedekkende laag op een unieke wijze te bepalen.

Deze hydraulische parameters kunnen afgeleid worden door middel van pompproeven. Deze aldus afgeleide parameters zijn bepaald op een voldoende grote schaal zodat ze kunnen ingevoerd worden in een model die de regionale stromingen simuleren. Sedert het opstellen van het eerste numerieke model, dat de grondwaterstroming in de sokkel behandelt, werden een reeks van pompproeven uitgevoerd. Vijf pompproeven werden uitgevoerd in de gespleten top van de sokkel en vier in de watervoerende laag gesitueerd in de zanden van de Landen Groep. Door deze pompproeven was het mogelijk de hydraulische parameters op een eenduidige wijze af te leiden die de horizontale stroming in de watervoerende laag bepalen. Hierbij bleek dat de sokkel zich gedraagt als een equivalent lateraal anisotroop medium. De afgeleide hoofdrichtingen waren op alle plaatsen nagenoeg gelijk. Dit bevestigde de hypothese die reeds onderzocht werd tijdens de eerste ijking van het mathematische model. Door de pompproeven die tot nu toe verricht werden in de sokkel was het mogelijk de resulterende hydraulische weerstand af te leiden. Met deze parameter kan de totale lek vanuit de aangrenzende lagen naar de watervoerende laag in de top van de sokkel ingeschat worden. Het was echter niet mogelijk om de lek uit de boven- en de onderliggende gesteenten van elkaar te onderscheiden. Uit de pompproeven verricht in de zandige afzettingen van de Landen Groep kon nauwkeurig de horizontale doorlatendheid van de aangepompte laag ingeschat worden. De hydraulische weerstand tussen deze watervoerende laag en de watervoerende laag in de sokkel kon er slechts bij benadering uit deze pompproeven afgeleid worden.

Sedert het opstellen van het eerste mathematische model verscheen eveneens de resultaten van een uitgebreid stratigrafische onderzoek over de afzettingen van de Formatie van Kortrijk die vroeger kortweg aangeduid werd als de Ieperse klei (Dupuis, Deconinck en Steurbaut, 1991). Steunend op deze nieuwe inzichten werd een pompproef uitgevoerd te Elst waardoor het mogelijk werd de horizontale en de verticale doorlatendheid te bepalen van de meest doorlatende afzettingen in de Formatie van Kortrijk. Door de combinatie van de afgeleide waarden van de verticale doorlatendheid met de waargenomen stijghoogte in de verschillende afzettingen binnen de Formatie van Kortrijk was het zelfs mogelijk de hydraulische weerstanden van de minst doorlatende afzettingen van de Formatie van Kortrijk te bepalen. Door middel van een reeks pompproeven werden eveneens de hydraulische parameters bepaald van de Formatie van Tielt.

Al deze nieuw verworven kennis, zowel wat betreft de lithostratigrafie van de deklagen als wat betreft de hydraulische parameters van de sokkel en zijn bedekkende lagen, werd in het mathematische model van de sokkel ingevoerd. In dit rapport zal de eerste versie van het mathematische model besproken worden. Het zal gevolgd worden met een korte beschrijving van de resultaten van de pompproeven die na de eerste versie van het mathematische model uitgevoerd werden. Vervolgens zal uiteengezet worden op welke wijze deze nieuw verworven kennis in de nieuwe versie van het mathematische model ingevoerd wordt. De resultaten van deze nieuwe versie zullen besproken worden. Tenslotte worden de nog bestaande leemten in de hydrogeologische kennis besproken tezamen met voorstellen van hydrogeologisch onderzoek om deze leemten aan te vullen.

## 2. Eerste versie van quasi-drie-dimensionaal model

### 2.1 Modelgebied

Het modelgebied is ten noorden begrensd door de Westerschelde en de Noordzee. Het wordt ten zuiden begrensd door het gebied waar de zanden van de Landen Groep dagzomen. Deze zuidelijke grens loopt vanaf Calais over St-Omer, Béthune, Rijsel. Vanaf Rijsel vertoont de zuidgrens een zuiver west-oost verloop. De oostgrens vertoont een zuiver noord-zuid verloop en ligt juist ten oosten van de steden Aalst en Ninove. Met het model worden de grondwaterstroming quasi-drie-dimensionaal gesimuleerd. Hierbij komen de lagen van het numeriek model overeen met de doorlatende lagen terwijl dat de slecht doorlatende lagen enkel als horizonten tussen de lagen van het numeriek model beschouwd worden. Het gevolg van deze schematisatie van het grondwaterreservoir in het numeriek model is dat in de slecht doorlatende lagen enkel verticale stromingen beschouwd worden. Het voordeel van deze schematisatie is dat aldus het aantal lagen in het numeriek model beperkt wordt.

### 2.2 Eindig-verschil netwerk

Het opgestelde eindig-verschil netwerk wordt voorgesteld in figuur 1. Het is samengesteld uit 83 kolommen en 67 rijen. Alle kolommen hebben eenzelfde breedte van 2 km. De meeste rijen hebben een hoogte van 2 km. De rijen in het centrale tot zuidelijke gedeelte van het modelgebied, waar de grootste pompings voorkomen, hebben een hoogte van 1 km. De totale oppervlakte van het gemodelleerde gebied is 12.464 km<sup>2</sup>. Het grondwaterreservoir wordt geschematiseerd tot zes doorlatende lagen en tot vijf slecht doorlatende lagen. De lagen worden genummerd van onder naar boven.

### 2.3 Schematisatie van het modelgebied

Laag 1 van het numeriek model komt overeen met het bovenste gespleten gedeelte van de sokkel en het gedeelte van de bedekkende lagen van het Krijt die gespleten zijn. Daar laag 1 van het numeriek model onderaan begrensd is door een ondoorlatende grens, wordt de eventuele opwaartse stroming vanuit het onderliggende minder doorlatende gedeelte van de sokkel in het model ontkend. Laag 2 in het numeriek model komt overeen met de doorlatende afzettingen van de Landen Groep. Laag 3 van het numeriek model stemt overeen met de doorlatende afzettingen van de Formatie van Tielt en/of de doorlatende quartaire afzettingen. De lagen 1, 2, en 3 komen nagenoeg over het ganse modelgebied voor. De lagen 4, 5 en 6 komt slecht voor in de noordoostelijke hoek van het modelgebied (zie figuur 1). De volledige schematisatie van het grondwaterreservoir in doorlatende en slecht doorlatende lagen worden weergegeven in Tabel 1. De doorlatende lagen in het numerieke model worden er aangeduid met een cijfer. De slecht doorlatende lagen, die als horizonten tussen de lagen van het numeriek model ingevoerd worden, zijn er aangeduid door een letter.

Tabel 1. Schematisatie van het grondwaterreservoir bij de eerste versie van het numeriek model en de ingevoerde waarden van de hydraulische parameters.

Lithostratigrafie	Lagen in numeriek model	Hydraulische weerstand (in dagen per meter afzetting)	Horizontale doorlatendheden (m/d)
Zanden van het Quartair en Neogeen	Laag 6		4
Klei en silt van de Formatie van Boom	Horizon E	10000	
Zanden van de Formatie van Boom, Bilzen, Niel en Zelzate	Laag 5		3
Kleien van de Formatie van Maldegem	Horizon D	8000	
Zanden van de Formatie van Lede, Aalter en Gent	Laag 4		2.77
Klei van de Formatie van Gent	Horizon C	10000	
Zanden van de Formatie van Tielt	Laag 3		2
Klei van de Formatie van Kortrijk	Horizon B	160000	
Zanden van de Groep van Landen	Laag 2		2
Klei van de Groep van Landen en ongespleten krijtafzettingen	Horizon A	32000	
Gespleten krijtafzettingen en gespleten top van de sokkel	Laag 1		veranderlijk

#### 2.4. Randvoorwaarden

Voor iedere beschouwde laag in het numeriek model moeten er randvoorwaarden opgegeven worden. Bij de toestand zonder pumping worden alle grenzen ondoorlatend verondersteld. Bij de toestand met pumping wordt een gedeelte van de zuidgrens als grens met constante stijghoogte beschouwd. Tussen de kolommen 42 en 70 wordt een stijghoogte aangenomen van -40 m TAW. Deze lage stijghoogte werd afgeleid uit het werk van De Roubaix et al. (1979) en is te wijten aan de belangrijke water onttrekking in de Carboonkalksteen in en rond Rijsel. Voor de andere lagen in het numeriek model heeft men telkens gekozen voor ondoorlatende westelijke, noordelijke en oostelijke grenzen. Men veronderstelt dus geen horizontale stromingen meer onder de westelijke en noordelijke grenzen die onder de Noordzee en de Westerschelde gelegen zijn. Bij deze laatste grenzen zal nog enkel verticale stroming mogelijk zijn. Daar men veronderstelt dat de stroming enkel evenwijdig zal geschieden aan de oostelijke grens wordt deze grens als ondoorlatend beschouwd. De andere grenzen zijn als vaste stijghoogten ingevoerd. Daar waar de lagen dagzomen werd voor iedere cel afzonderlijk een vaste stijghoogte ingevoerd. Deze waarden werden gelijk gesteld aan de gemiddelde hoogte van het maaiveld in de beschouwde cel verminderd met 1 meter.



## 2.5 Hydraulische parameters

In 1986 waren weinig gegevens beschikbaar voor wat betreft de horizontale doorlatendheden van de doorlatende afzettingen. De betrouwbaarste waarden hiervoor waren afkomstig van pompproeven, b.v. de horizontale doorlatendheid van laag 4 werd bepaald door middel van de pompproef te Ursel (Van Dyck et al., 1984). De verticale doorlatendheid van de slecht doorlatende lagen werden toen nog uitsluitend afgeleid door de ijking van regionale stromingsmodellen. Zo werd de verticale doorlatendheid ingeschat van horizon D door vergelijking van de waargenomen stijghoogten in laag 4 onder de heuvelrug van Ursel-Maldegem met de berekende stijghoogten met een eindig-verschil model (Van Dyck et al., 1984). Op het ogenblik van het opstellen van het numerieke model van de sokkel en zijn bedekkende lagen waren echter geen gegevens beschikbaar over de horizontale doorlatendheden van de doorlatende lagen en de verticale doorlatendheid van de slecht doorlatende lagen. Deze werden dan ook ingeschat en verder aangepast door de vergelijking van de berekende stijghoogten met de waargenomen stijghoogten. De waarden weergegeven in Tabel 1 kwam overeen met de best overeenkomst tussen de waargenomen en de gesimuleerde stijghoogte.

Voor wat betreft de doorlatendheid van de sokkel werden er drie reeksen van simulaties grondig beschreven (Lebbe et al., 1987). Bij de eerste reeks werd verondersteld dat de sokkel homogeen en isotroop is met een doorlaatvermogen gelijk aan 45 m<sup>2</sup>/d. Bij de tweede reeks berekeningen werd rekening gehouden met de hypothese dat de doorlatendheid van de sokkel groter zou zijn volgens een band met als as Roeselare - Lessen. In deze band van 30 km breedte zou het doorlaatvermogen lineair toenemen van het noordoosten naar het zuidwesten, van 5 m<sup>2</sup>/d naar 85 m<sup>2</sup>/d. De waarden nemen tevens lineair af vanaf 10 km van de as naar de rand toe, van 85 m<sup>2</sup>/d naar 5 m<sup>2</sup>/d. Buiten deze band is het doorlaatvermogen van de sokkel overal gelijk gesteld aan 5 m<sup>2</sup>/d. Bij deze tweede berekening veronderstelt men dus dat de sokkel heterogeen en isotroop is. Bij de derde simulatiereeks veronderstelt men dat de sokkel heterogeen en anisotroop is. Hierbij varieerde het effectieve doorlaatvermogen van de sokkel op de zelfde wijze als in de tweede reeks berekeningen. De hoofdas van maximale doorlatendheid werd evenwijdig gekozen aan de as Roeselare - Lessen, dit is N 118° E. De anisotropie werd gelijk gesteld aan 1.259. De verhouding tussen de maximale en de minimale doorlatendheid is dan gelijk aan 1.6 op alle plaatsen van het grondwaterreservoir.

## 2.6 Resultaten van modellering

De ijking van het model gebeurde hoofdzakelijk door vergelijking van de gesimuleerde stijghoogte met twee stijghoogtekaarten: de stijghoogtekaart van de watervoerende laag in de top van de sokkel (figuur 2) en de stijghoogtekaart van de watervoerende laag gevormd door de zanden van de Groep van Landen (figuur 3). Deze kaarten zijn gesteund op waarnemingen uitgevoerd tijdens de maand mei 1986. In de figuren 2 en 3 worden de berekende stijghoogten weergegeven voor de derde berekeningsreeks waarin de sokkel als heterogeen en anisotroop verondersteld wordt (zie deel 2.5). Met het model werd eveneens de natuurlijke grondwaterstroming gesimuleerd die er heerste voor de exploitatie van de diepere watervoerende lagen in Vlaanderen. Deze resultaten werden vergeleken met enkele stijghoogten waargenomen op het einde van vorige eeuw.

Door de modellering werd het belang aangetoond van de op- en neerwaartse

stroming doorheen de bedekkende slecht doorlatende lagen in de waterbalansen in de diepere watervoerende lagen. In figuur 4 wordt de verticale Darciaanse stroomsnelheid weergegeven (in mm/jaar) van water dat stroomt doorheen de klei van de Formatie van Kortrijk. Deze resultaten stemmen overeen met de toestand die er heerste voor de exploitatie van diepere watervoerende lagen. Uit deze kaarten kan duidelijk de heropvullingsgebieden onderscheiden worden van de afvloeigebieden. De heropvullingsgebieden van de watervoerende laag gevormd door de zanden van de Groep van Landen zijn gesitueerd onder de hoger gelegen gebieden van Vlaanderen. Het grootste aaneengesloten heropvullingsgebied is gelegen tussen de kustvlakte en de Leievallei. De twee kleinere heropvullingszones zijn de hoogste gedeelten van het Leie-Schelde interfluvium en het Schelde-Dender interfluvium. De hoogste Darciaanse verticale snelheden zou er dan groter zijn dan 10 mm/jaar. Dit komt overeen met een heropvulling van meer dan  $10^4 \text{ m}^3$  per jaar per vierkante kilometer. Bij de niet aangepompte toestand of bij de natuurlijke grondwaterstroming stroomt evenveel water neerwaarts doorheen de klei van de Formatie van Kortrijk als dat er opwaarts stroomt (dit zou dan ca. 2.5 miljoen  $\text{m}^3/\text{jaar}$  zijn). Doordat de oppervlakte van het heropvullingsgebied veel kleiner is dan de oppervlakte van het afvloeingsgebied zal de gemiddelde neerwaartse stroming in het heropvullingsgebied groter zijn dan de gemiddelde opwaartse stroming in het afvloeingsgebied.

In figuur 5 wordt de verticale Darciaanse stroomsnelheid weergegeven van water dat stroomt doorheen de klei van de Formatie van Kortrijk bij de gesimuleerde toestand van 1986. Door de sterke pompingen is de stijghoogte in volledige modelgebied gezakt waardoor nagenoeg het volledig modelgebied heropvullingsgebied wordt. Ook de valleien van de Leie, Schelde en Dender zijn heropvullingsgebieden geworden en zelfs de kustvlakte. In een groot gedeelte van het modelgebied zou de gemiddelde neerwaartse Darciaanse snelheid dan groter zijn dan 10 mm/jaar. De totale neerwaartse stroming van water doorheen de klei van de Formatie van Kortrijk wordt geschat op 20 miljoen  $\text{m}^3/\text{jaar}$ .

Door middel van de ijking van het model was het echter onmogelijk om de hydraulische doorlatendheden van de diepere watervoerende lagen en hun aangrenzende slecht doorlatende laag op een unieke wijze te bepalen. De reden hiervoor was de onbetrouwbaarheid van de verzamelde debieten. Zo kon duidelijk aangetoond worden dat de kennis van gepompte debieten onvoldoende was in de streek van Roeselare-Ardooie-Kortemark voor de sokkel en in de streek rond Poperinge voor de watervoerende laag in de zanden van de Groep van Landen.

## 2.7 Slotbeschouwingen bij de eerste versie van het mathematische model

Het eerste doel van de modellering was het aantonen van het belang van de verticale stroming doorheen de slecht doorlatende laag gevormd door de klei van de Formatie van Kortrijk. Het tweede doel was het afleiden van de hydraulische parameters van de diepe watervoerende lagen en hun aangrenzende slecht doorlatende lagen waardoor dan een nauwkeurige waterbalans zou kunnen worden opgesteld. Dit was echter niet mogelijk omwille van de onbetrouwbaarheid van de verzamelde opgepompte debieten en door het gering aantal waarnemingen in de eerste helft van vorige eeuw. Deze hydraulische parameters zullen op een andere wijze moeten afgeleid worden. Daarom werd dan ook voorgesteld om deze hydraulische parameters op te sporen door het uitvoeren en interpreteren van een reeks van pompproeven.

### **3. Bepaling van hydraulische parameters van de sokkel en zijn bedekkende lagen door middel van pompproeven**

#### **3.1. Pompproeven in watervoerende laag gevormd door top van de sokkel**

##### **3.1.1. Inleiding**

In opdracht van de Belgische Geologische Dienst heeft het Laboratorium van Toegepaste Geologie en Hydrogeologie van de Universiteit Gent vier pompproeven in de sokkel uitgevoerd. Een vijfde pompproef werd door het LTGH uitgevoerd in opdracht van een textielbedrijf gevestigd te Wervik. Bij de eerste pompproef stelde men onmiddellijk vast dat de verlagingen sterk verschilden in twee waarnemingsputten die op ongeveer een gelijke afstand van de pompput gelegen zijn. De richting dat deze waarnemingsputten ten opzichte van de pompput was echter sterk verschillend. De watervoerende laag gevormd door de top van de sokkel reageerde dus duidelijk als een lateraal anisotrope laag. Bij een dergelijke watervoerende laag wordt de horizontale stroming van de sokkel bepaald door drie parameters. Deze drie parameters zijn het effectieve doorlaatvermogen, de hoek tussen de noordrichting en de hoofdrichting van maximale doorlaatvermogen en de laterale anisotropie. Deze drie parameters kunnen enkel eenduidig afgeleid worden indien de verlaging gemeten worden in waarnemingsputten die gelegen zijn in minstens drie verschillende richtingen ten opzichte van de pompput.

Bij de pompproeven van Deinze, Kortemark en Gijzegem waren enkel drie putten beschikbaar. Ieder van deze putten waren echter voorzien van een dompelpomp en een debietmeter. Op deze plaatsen werd dan ook een dubbele pompproef uitgevoerd. Hierbij wordt op twee putten afzonderlijk gepompt, terwijl bij iedere proef op de twee andere putten de verlagingen gemeten wordt. Door het uitvoeren van deze dubbele pompproef was het eveneens mogelijk de drie parameters op een eenduidige wijze af te leiden samen met hun gezamenlijk betrouwbaarheidsgebied. Deze drie parameters bepalen de horizontale stroming in de lateraal anisotrope sokkel.

##### **3.1.2. Resultaten van pompproeven in sokkel**

De resultaten van de vijf pompproeven in de gespleten top van de sokkel werden samengevat in tabel 2. Bij de pompproef te Gijzegem was het niet mogelijk een unieke oplossing af te leiden uit de waargenomen verlagingen. Er waren twee mogelijke oplossingen. Beide oplossingen werden opgenomen in tabel 2.

Bij de onderlinge vergelijking van de resultaten van de pompproeven in de sokkel kan men vaststellen dat de hoofdrichtingen met maximaal doorlaatvermogen onderling niet sterk verschillen. De afgeleide hoofdrichting van de pompproef van Aalst is hier een uitschieter. Ook de anisotropie varieert tussen nauwe grenzen (1.51-2.05). Uitschieter is hier de afgeleide anisotropie van de pompproef te Gijzegem. Het effectieve doorlaatvermogen varieert eveneens binnen relatief nauwe grenzen. Het effectieve doorlaatvermogen bepaald te Wervik is een uitschieter naar boven toe terwijl de waarde bepaald te Aalst een uitschieter is naar beneden toe. De grote waarde van Wervik kan verklaard worden door het feit dat de sokkel er bestaat uit de Carboon kalksteen terwijl op alle andere pompproefplaatsen de sokkel er hoofdzakelijk samengesteld is uit fylieten van het Siluur. De kleine waarde voor het doorlaatvermogen te Aalst en de grote waarde voor de anisotropie

te Gijzegem kunnen er waarschijnlijk verklaard worden door de geringere densiteit van de spleten in de sokkel.

Tabel 2. Resultaten van de pompproeven in de sokkel

Pomp plaats	Dikte van bepompde laag (m)	Effectief doorlaatvermogen $kD_e$ (m <sup>2</sup> /d)	Minimum doorlaatvermogen $kD_{\min}$ (m <sup>2</sup> /d)	Maximum doorlaatvermogen $kD_{\max}$ (m <sup>2</sup> /d)	Anisotropie $\sqrt{m}$ dimensieloos	Richting van max. doorlaatvermogen	Elastische bergingscoëfficiënt dimensiel.	Resulterende hydr. weerstand (d)
Kortemark	66	29.1	14.2	59.5	2.05	N63°E	$4.16 \times 10^{-5}$	4608
Deerlijk	87	43.5	24.3	77.9	1.79	N86°E	$1.74 \times 10^{-5}$	-
Deinze	56	12.5	8.28	18.9	1.51	N61°E	$7.52 \times 10^{-6}$	101500
Gijzegem oplos. 1	80	31.8	5.32	190.	5.94	N99°E	$1.25 \times 10^{-4}$	2985
Gijzegem oplos. 2	80	47.4	8.00	281.	5.93	N61°E	$2.17 \times 10^{-4}$	6897
Aalst	60	6.87	3.75	12.6	1.83	N125°E	$1.07 \times 10^{-5}$	52900
Wervik	25	70.7	41.1	122.	1.72	N76°E	$6.33 \times 10^{-6}$	36972

De afgeleide waarde voor de elastische bergingscoëfficiënt en voor de resulterende hydraulische weerstand vertonen er grote variaties. Bij de kleine waarden van de elastische bergingscoëfficiënt is de berging nagenoeg volledig te wijten aan de elasticiteit van het water in de sokkel. De grote afgeleide waarden voor de specifieke elastische berging kunnen wellicht verklaard worden door de aanwezigheid van een luchtbel in de sokkel. Met de afgeleide waarden van de resulterende hydraulische weerstand kan de totale lek uit de aangrenzende lagen van de sokkel geëvalueerd worden. Het is echter niet mogelijk om de lek uit de onderliggende en uit de bovenliggende lagen van elkaar te onderscheiden.

### 3.2. Pompproeven in de watervoerende laag in de zanden van de Landen Groep

In opdracht van de Belgische Geologische Dienst werden twee pompproeven uitgevoerd in de watervoerende laag gevormd door de zanden van de Landen Groep (Poperinge en Langemark). In Oostduinkerke werd één pompproef uitgevoerd in opdracht van de waterleidingsmaatschappij IWVA. De vierde pompproef, waarvan de resultaten zullen besproken worden, werd uitgevoerd te Ronse in het kader van een onderzoek voor een licentiaatsproefschrift. De resultaten van deze pompproeven zijn samengevat in tabel 3. De afgeleide waarden van het doorlaatvermogen en de doorlatendheid van de Zanden van de Landen Groep te Poperinge, Langemark en Oostduinkerke zijn van dezelfde orde van grootte. Het doorlaatvermogen en de horizontale doorlatendheid zijn te Ronse beduidend groter dan op de drie andere plaatsen. Uit de waargenomen verlagingen van deze pompproeven kon eveneens ruw de resulterende hydraulische weerstand afgeleid worden. Deze resulterende hydraulische weerstand is afhankelijk van de lek uit de aangrenzende slecht doorlatende lagen. Bij de eerste drie pompproeven kan men stellen dat de lek uit de bovenliggende kleiafzettingen beduidend kleiner is dan uit de onderliggende kleiafzettingen van de Landen Groep en de ongespleten krijtafzettingen. De

gevonden waarde van de resulterende hydraulische weerstand zal bijgevolg de hydraulische weerstand van de onderliggende slecht doorlatende laag benaderen. Van deze laag kan dan ook de hydraulische weerstand per meter afzetting ruw ingeschat worden voor de drie eerste pompproeven. Voor Poperinge, Langemark en Oostduinkerke zijn deze waarden respectievelijk gelijk aan 1,168. d, 814.6 d en 5,084. d.

Tabel 3. Resultaten van de pompproeven in de zanden van de Landen Groep.

Pompplaats	Dikte van bepompte laag (m)	Doorlaatvermogen KD (m <sup>2</sup> /d)	Horizontale doorlatendheid (m/d)	Resulterende hydrau- lische weerstand (d)
Poperinge	29.0	3.712	0.128	64,804.
Langemark	28.0	3.416	0.122	64,350.
Oostduinkerke	17.8	2.670	0.150	544,000.
Ronse	8.70	10.179	1.170	169.0

### 3.3. Bepaling van hydraulische parameters van afzettingen van de Ieper Groep te Elst

In het kader van een hydrogeologische onderzoek van het Zwalmbekken werd te Elst een drievoudige pompproef uitgevoerd. Door de combinatie van de waargenomen verticale stijghoogtegradiënt binnen deze afzettingen van de Ieper Groep met de resultaten van drie pompproeven was het mogelijk de hydraulische parameters in te schatten.

#### 3.3.1. Lithostratigrafische opbouw en hydrogeologische schematisatie van het grondwater-reservoir

Aan de hand van de boorbeschrijving en de geofysische boorgatmetingen werden de lithostratigrafische opbouw van het grondwaterreservoir afgeleid. De lithostratigrafische opbouw wordt voorgesteld op figuur 6. Tussen 0 en 3.5 m diepte komt leem voor van het Quartair. Deze quartaire afzettingen zijn gelegen op tertiaire zanden die behoren tot het Lid van Vlierzele (Laga en Marechal, 1988). Ze komen voor tussen een diepte van 3.5 en 9 m. In deze middelmatige zanden schommelt de watertafel. Tussen 9 en 14 m diepte komen klei voor van het Lid van Merelbeke. De afzettingen van het Lid van Vlierzele kunnen beschouwd worden als een doorlatende laag, de onderliggende kleilaag als een zeer slecht doorlatende laag.

Tussen 14 en 40 m komt fijn zand voor met een wisselend gehalte aan klei. Deze afzettingen behoren toe aan de Formatie van Tielt. Op de site van de pompproef onderscheiden we drie verschillende lagen in de Formatie van Tielt. De bovenste 3.5 m bestaat uit een weinig kleihoudende fijne zand afzettingen. Tussen 17.5 m en 30.5 m diepte komen de zandige kleiafzettingen voor die het middelste gedeelte van de Formatie van Tielt vormt. Het onderste gedeelte van de Formatie van Tielt, tussen 30.5 en 40.0 m, bestaan terug uit een weinig kleihoudend fijn zand. Tussen 31.5 en 35.0 m diepte komt de minst kleihoudende afzetting voor. De Formatie van Tielt kan hydrogeologisch opgedeeld worden in drie lagen: het onderste en bovenste gedeelte kan als twee doorlatende lagen beschouwd worden die van elkaar gescheiden zijn door een slecht doorlatende laag.

Tussen 40 en 132 m komen afzettingen voor die behoren tot de Formatie van Kortrijk. De bovenste 6 m bestaan uit klei van het Lid van Aalbeke. Tussen 46.0 en 91.5



m komen een afwisseling van lichtere en zwaardere kleien voor die behoren tot het Lid van Moen. De zes lichtere lagen komen voor tussen 50.0 en 51.0 m diepte, tussen 54.5 en 55.5 m, tussen 61.0 en 63.0 m, tussen 68.0 en 74.0 m, tussen 76.5 en 81.5 m en tussen 86.5 en 91.5 m. Zoals hieruit kan afgeleid worden komen de lichtere afzettingen frequenter voor in het onderste dan in het bovenste gedeelte van het Lid van Moen. Tussen 91.5 en 120.0 m diepte bestaat de Kortrijk Formatie uit klei van het Lid van Saint Maur. De bovenste 12 m is iets lichter dan de onderste 16.5 m. Het lichtste gedeelte van het Lid van Saint Maur is echter zwaarder dan de zwaardere afzettingen in het Lid van Moen. Tussen 120 en 132 m komen de kleiafzettingen voor die bestaan uit het Lid van de Mont Héribu. Deze afzettingen zijn vergelijkbaar met het lichter gedeelte van het Lid van Saint Maur. De afzettingen van de Formatie van Kortrijk kunnen hydrogeologisch beschouwd worden als slecht tot zeer slecht doorlatende lagen. De afzettingen van de leden van Aalbeke, van Saint-Maur en van de Mont Héribu vormen zeer slecht doorlatende lagen terwijl de afzettingen behorend tot het Lid van Moen als een slecht doorlatende laag kunnen beschouwd worden. Op een diepte groter dan 132 m komt de kleihoudende fijne zanden voor. Ze behoren tot de Landen Groep. Deze vormen de minst diepe half-afgesloten watervoerende laag met een continue laterale uitbreiding onder Vlaanderen.

### 3.3.2. Stijghoogten op verschillende niveaus binnen het grondwaterreservoir.

Op zes verschillende niveaus binnen het grondwaterreservoir werden de stijghoogten waargenomen. De minst diepe pomp- en peilputten hebben filterelementen in de basis van het Lid van Tielt met als plaatshoogte +92.0 m TAW. De drukhoogte is er gelijk aan 4.2 m en bijgevolg is er de stijghoogte +96.2 m TAW. In het midden van de Formatie van Tielt, in de fijnste afzettingen van deze formatie werd een peilput aangebracht met een filter rond 76.0 m TAW plaatshoogte. De drukhoogte is er gelijk aan 4.42 m en de stijghoogte is er bijgevolg gelijk aan 80.42 m TAW. In het onderste gedeelte van de Formatie van Vlierzele werd eveneens de stijghoogten opgemeten rond een plaatshoogte van 67.0 m TAW. De drukhoogte was er gelijk aan 11.7 m en de stijghoogte is gelijk aan 78.7 m TAW. In het lid van Moen werden in twee lagen met iets lichtere samenstelling filters geplaatst. Op de plaatshoogte +52 m TAW is er de stijghoogte gelijk aan 58.8 m TAW en op de plaatshoogte +32 m TAW is de stijghoogte gelijk aan 55.9 m TAW. De stijghoogte werd eveneens waargenomen in de zandige afzettingen van de Landen Groep op een plaatshoogte van ca. -35 m TAW. De drukhoogte was er gelijk aan 23 m wat overeenkomt met een stijghoogte van -12 m TAW.

### 3.3.3. Ingeschatte verticale Darciaanse stroomsnelheden en verticale doorlatendheden.

Uit Lebbe et al. (1993) blijkt dat 1 m klei van het Lid van Merelbeke, een hydraulische weerstand heeft van 4,200. dagen. Aanvankelijk veronderstellen we dat de 5.5 m klei van het Lid van Merelbeke te Elst een zelfde verticale hydraulische doorlatendheid heeft en bijgevolg een hydraulische weerstand gelijk aan 23,100. dagen. De stijghoogte boven deze kleilaag werd rechtstreeks waargenomen (96.2 m). De stijghoogte in de bovenste fijne zanden van de Formatie van Tielt is echter niet rechtstreeks opgemeten. We veronderstellen dat het middelste meest kleirijke gedeelte van de Formatie van Tielt homogeen is en dat bijgevolg de verticale doorlatendheid op alle niveaus gelijk is. Daar de natuurlijke stroming er hoofdzakelijk verticaal is, zal de verticale stroomsnelheid

met de diepte nagenoeg constant zijn. De verticale gradiënt in deze slecht doorlatende laag zal dan ook op alle diepten ongeveer gelijk zijn. Deze verticale gradiënt kan afgeleid worden uit de stijghoogte op 74.0 m TAW en uit de stijghoogte aan de basis van deze laag op 62.0 m TAW. Op het eerst vernoemde niveau is er de stijghoogte gelijk aan 80.4 mTAW en op het tweede vernoemde niveau is de stijghoogte gelijk aan 78.7 m TAW. Dit komt overeen met een verticale gradiënt van  $(80.4-78.7)/(76.0-72.0)$  of 0.425. Hieruit kunnen we afleiden dat de stijghoogte aan de top van deze slecht doorlatende laag gelijk is 84.225 m TAW. We kunnen eveneens aannemen dat de verticale gradiënt in het bovenste doorlatende gedeelte van de Formatie van Tielt verwaarloosbaar klein is en dat de stijghoogte er op alle niveaus gelijk is. De stijghoogte aan de top van de laag of aan de basis van de klei van het Lid van Merelbeke is gelijk aan 84.225 m TAW. De verticale gradiënt over deze klei is gelijk aan 1.8423 en de verticale Darciaanse stroomsnelheid zou dan gelijk zijn aan 0.5184 mm/d of 189.3 mm/jaar. Dit is geringer dan de geschatte infiltratiesnelheid in het gebied nl. 265 mm/jaar, d.i. ca 38 % van de jaarlijkse gemiddelde neerslag. Het verschil zou dan horizontaal wegstromen in de bovenste laag.

De schatting van de verticale doorlatendheid van het middelste slecht doorlatende gedeelte van de Formatie van Tielt gebeurt aan de hand van de waargenomen verticale verhang en aan de hand van een geschatte verticale Darciaanse stroomsnelheid. De verticale Darciaanse snelheid wordt er geschat op 174.0 mm/jaar, d.i. ongeveer 8 % minder dat doorheen de klei van het Lid van Merelbeke stroomt. Deze 8 % zou dan door horizontale stromingen in het bovenste doorlatende gedeelte van de Formatie van Tielt wegstromen. Uit deze verticale snelheid en gradiënt leiden we af dat de totale hydraulische weerstand van deze laag met een dikte van 13 m gelijk is aan 11,594. dagen, dit is 891.85 d hydraulische weerstand per meter afzetting of een verticale hydraulische doorlatendheid van 0.00112 m/d.

Het stijghoogteverschil over de klei van het Lid van Aalbeke en de bovenste vier meter van het Lid van Moen bedraagt 19.9 m. Het stijghoogteverschil over 12.0 m zwaardere afzettingen van het Lid van Moen en 5.0 m lichtere afzettingen van het Lid van Moen bedraagt 2.9 m. We schatten dat de verticale Darciaanse stroomsnelheid door de klei van het Lid van Aalbeke gelijk is aan 160.0 mm/jaar. Dit is terug 8 % kleiner dan deze door het middelste slecht doorlatende gedeelte van de Formatie van Vlierzele. Deze 8 % zou dan horizontaal wegstromen in het onderste doorlatende gedeelte van de Formatie van Tielt. Dit gedeelte heeft een groter doorlaatvermogen dan het bovenste gedeelte. Er kan evenwel verwacht worden dat de horizontale gradiënt kleiner is in deze laag dan in het bovenste doorlatende gedeelte van de Formatie van Tielt. De verticale Darciaanse snelheid in het bovenste gedeelte van het Lid van Moen zal niet veel kleiner zijn dan de verticale Darciaanse snelheid doorheen het Lid van Aalbeke aangezien het totale doorlaatvermogen in het bovenste gedeelte van het Lid van Moen zeer klein is. Daarom wordt een verticale Darciaanse snelheid geschat van 154.0 mm/jaar.

Eerst zal de verticale doorlatendheid van de lichtere en zwaardere afzettingen van het Lid van Moen bepaald worden. Hierbij zullen we veronderstellen dat de lichtere afzettingen tien maal meer doorlatend zijn dan de zwaardere afzettingen. Aan de hand van deze veronderstelling, de geschatte verticale Darciaanse snelheid en het stijghoogteverschil van 2.9 m over 12.0 m zwaardere en 5.0 m lichtere afzettingen kunnen we afleiden dat de verticale doorlatendheid van zwaardere afzettingen gelijk is aan 0.00182 m/d. De verticale doorlatendheid van de lichtere afzettingen van het Lid van Moen is dan gelijk aan 0.0182 m/d. Met behulp van de verticale doorlatendheid van de zwaardere afzettingen

van het Lid van Moen kan nu de verticale doorlatendheid ingeschat worden van de klei in het Lid van Aalbeke. Het stijghoogteverschil van 19.9 m over 6 m Lid van Aalbeke en 4 m zwaardere afzettingen van het Lid van Moen zal resulteren in een verticale doorlatendheid van 0.000139 m/d als we aannemen dat de verticale Darciaanse snelheid gelijk is aan 154.0 mm/jaar. Dit stemt overeen met een hydraulische weerstand van 7204 d per meter klei van het Lid van Aalbeke.

Het stijghoogteverschil over de afzettingen van het lid van Saint Maur en het Lid van de Mont Héribu is gelijk aan 67.9 m. We veronderstellen dat de verticale doorlatendheid van de 12 m lichtere afzettingen van het Lid van Saint Maur gelijk is aan de verticale doorlatendheid van de 12 m afzettingen behorend tot het Lid van de Mont Héribu. Tevens veronderstellen we dat de verticale doorlatendheid van de 16.5 m zwaardere afzettingen van het Lid van Saint Maur drie maal kleiner is dan deze van de lichtere afzettingen. Aannemend dat de verticale snelheid door deze zwaardere afzettingen gelijk is aan 140 mm/j dan bekomen we dat de verticale doorlatendheden van de zwaardere afzettingen in het Lid van Saint Maur gelijk is aan 0.000138 m/d. Dit komt overeen met een hydraulische weerstand van 7,230. d per meter afzetting. De verticale doorlatendheid van de afzettingen van het Lid van Mont Héribu en de lichter afzettingen van het Lid van Saint Maur is gelijk aan 0.000415 m/d wat overeenstemt met een hydraulische weerstand van 2,410. d per meter afzetting.

De totale hydraulische weerstand van het afzettingen van de Formatie van Kortrijk is dan gelijk aan 242,309.5 d voor 91 m afzettingen. Dit stemt overeen met een hydraulische weerstand van gemiddeld 2634 d per meter afzetting van de Formatie van Kortrijk. Dit is een veel geringere weerstand dan ingevoerd bij de eerste versie van het mathematische model van de Sokkel.

### 3.3.4 Uitvoering van de drie pompproeven

De eerste pompproef werd uitgevoerd in het Lid van Moen. Hierbij werd gedurende 2,896.0 minuten gepompt met een gemiddeld debiet van ca. 4.79 m<sup>3</sup>/d op pompput PP1. Tussen 2,896 en 5,748 minuten werd gepompt met een debiet van 5.59 m<sup>3</sup>/d. Vanaf 5,748 minuten tot het einde van de pompproef werd gepompt met een debiet van 8.12 m<sup>3</sup>/d. De pompput is voorzien van een filterelement tussen 66 m en 86 m diepte (zie figuur 6). Het filterelement is gesitueerd in 11 m lichtere afzettingen en 9 m zwaardere afzettingen van het Lid van Moen. De peilbuizen PB1.1 en PB1.2 zijn gelegen op respectievelijk 16.10 m en 66.15 m van de pompput PP1. Hun filterelement is gelegen op een lichtere afzetting van het Lid van Moen. Dit laatste gedeelte wordt rechtstreeks aangepompt door de pompput. De peilbuis PB1.3 is gelegen op 5.28 m van de pompput PP1 en heeft een filterelement in de bovenste lichtere afzetting van het Lid van Moen.

De tweede pompproef werd uitgevoerd in de Formatie van Tielt. Hierbij werd gedurende 4,320. minuten gepompt op pompput PP2 met een gemiddeld debiet van ca. 6.7 m<sup>3</sup>/d. De pompput PP2 is voorzien van een filterelement tussen 31.2 en 39.2 m diepte. Dit filterelement is gesitueerd in het onderste gedeelte van de Formatie van Tielt dat bestaat uit een weinig kleihoudend fijn zand. Twee peilbuizen PB2.1 en PB2.2 zijn gesitueerd op respectievelijk 7.98 en 40.01 m van de pompput. Ze zijn ieder voorzien van een filterelement van 1 m midden in de doorlatende rechtstreekse aangepompte laag. De peilbuis PB2.3 werd voorzien van een filterelement van één meter in het middelste kleirijke gedeelte van de Formatie van Tielt. Deze laatste peilbuis bevindt zich op 4.95 m

van de pompput.

De derde pompproef werd uitgevoerd in het Lid van Vlierzele. Hierbij werd gepompt met een debiet van ca.  $6.9 \text{ m}^3/\text{d}$  gedurende een periode van 4200 minuten. De pompput PP3 is voorzien van een filterelement van slechts één meter. Hiervan is 0.7 m gesitueerd in het onderste gedeelte van het Lid van Vlierzele. Twee peilbuizen PB3.1 en PB3.2 werden voorzien van filterelement in de rechtstreeks aangepompte laag op een afstand van 5.00 en 20.05 m van de pompput PP3.

### 3.3.5 Gezamenlijke interpretatie van het verticale stijghoogteverhang en van de drie pompproeven in de afzettingen van de Ieper Groep te Elst

Door de combinatie van het verticale stijghoogteverhang binnen de afzettingen van de Ieper Groep te Elst en de resultaten van drie pompproeven binnen dezelfde afzettingenreeks konden er de belangrijkste hydraulische parameters afgeleid worden van deze afzettingen. Binnen de Ieper Groep te Elst bezitten drie kleilagen een grote hydraulische weerstand. Het is de klei van het Lid van Merelbeke (5.5 m heeft er een hydraulische weerstand van 23,600 dagen), de klei van het Lid van Aalbeke (6 m heeft er een hydraulische weerstand van 45,500 dagen) en de klei van het Lid van Saint Maur en het Lid van Mont Héribu (40.5 m heeft er een hydraulische weerstand van 220,000 dagen).

De 20 m lichtere afzettingen binnen het Lid van Moen hebben een horizontale doorlatendheid die gelijk is aan  $0.103 \text{ m/d}$ . Het totale doorlaatvermogen van de 45.5 m afzettingen die behoren tot het Lid van Moen is gelijk aan  $2.32 \text{ m}^2/\text{d}$ . Hierbij werd verondersteld dat de zwaardere afzettingen binnen het Lid van Moen een doorlatendheid hebben die tien maal kleiner is dan de horizontale doorlatendheid van de lichtere afzettingen. Binnen het Lid van Moen werd afgeleid dat de verticale doorlatendheid ongeveer zes maal kleiner is dan de horizontale doorlatendheid.

De doorlatende lagen binnen de Formatie van Tielt hebben een horizontale doorlatendheid van  $1.80 \text{ m/d}$ . Deze afzettingen die een totale dikte hebben van 12 m hebben een totaal doorlaatvermogen van  $21.58 \text{ m}^2/\text{d}$ . Deze twee doorlatende lagen die voorkomen aan de basis en de top van de Formatie van Tielt zijn van elkaar gescheiden door een slecht doorlatende laag van 13 m dik met een hydraulische weerstand gelijk aan 11,900 dagen. De horizontale doorlatendheid van de zanden van het Lid van Vlierzele is gelijk aan  $2.87 \text{ m/d}$ . Het doorlaatvermogen van deze zanden is er gelijk aan  $7.76 \text{ m}^2/\text{d}$ . De verticale doorlatendheid is er gelijk aan  $0.476 \text{ m/d}$ .

De bergingscoëfficiënt nabij de watertafel is gelijk aan 0.107. De specifieke elastische bergingen wijken sterk tot matig af ten opzichte van de verwachte waarde die men uit de diepteligging zou kunnen afleiden met de Van der Gun vergelijking. De sterkste afwijking vertonen de bovenste afzettingen die behoren tot het Lid van Vlierzele. Deze afzettingen hebben een specifieke elastische berging van ca.  $1.25 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ , d.i. ongeveer 20 maal groter dan uit de diepteligging zou afgeleid worden volgens de Van der Gun vergelijking. De specifieke elastische berging in de Formatie van Tielt varieert rond  $9.52 \times 10^{-5} \text{ m}^{-1}$ , d.i. ongeveer 4 maal de waarde geschat met de Van der Gun vergelijking. De specifieke elastische berging van de afzetting van het Lid van Moen varieert rond  $1.23 \times 10^{-5} \text{ m}^{-1}$ , d.i. 1.37 maal kleiner dan de waarde geschat met de Van der Gun vergelijking.

## 4. Actualisering van het grondwaterstromingsmodel

### 4.1 Inleiding

De begrenzing van het modelgebied is dezelfde als bij de eerste versie van het quasi-drie-dimensionaal model (zie deel 2.1). Het aantal kolommen en rijen tezamen met hun plaats, hoogtes of breedtes werden ongewijzigd overgenomen (zie deel 2.2). Het aantal beschouwde lagen wordt evenwel van zes naar zeven uitgebreid. De Lagen 1 en 2 van de geactualiseerde versie van het numerieke model stemmen overeen met dezelfde lithostratigrafische eenheden als bij de eerste versie. Laag 1 komt overeen met het bovenste gespleten gedeelte van de sokkel, Laag 2 met de doorlatende afzettingen van de Landen Groep. Aan de Horizon A, tussen de Lagen 1 en 2, wordt een hydraulische weerstand toegekend die representatief is voor de kleiafzettingen van de Landen Groep en de ongespleten krijtafzettingen. Vanaf de derde laag is er een verschil met de eerste versie. Laag 3 van de actualiseerde versie stemt nu overeen met de afzettingen behorend tot het Lid van Moen. Aan de Horizon B, tussen de Lagen 2 en 3, wordt een hydraulische weerstand gegeven die representatief is voor de hydraulische weerstand van de kleiafzettingen van het Lid van Saint-Maur en het Lid van Mont-Héribu. Aan de Horizon C, tussen de Lagen 3 en 4, wordt een hydraulische weerstand gegeven die representatief is voor de afzettingen van het Lid van Aalbeke. De Lagen 4, 5, 6 en 7 van de geactualiseerde versie komen overeen met de Lagen 3, 4, 5 en 6 van de eerste versie (zie deel 2.3). De Horizonten D, E en F van de geactualiseerde versie komen overeen met de Horizonten C, D en E van de eerste versie. In tabel 4 wordt de schematisatie van het grondwaterreservoir weergegeven zoals aangenomen tijdens de eerste en de geactualiseerde versie.

Tabel 4. Schematisatie van het grondwaterreservoir bij de eerste versie en bij de geactualiseerde versie van het numerieke model.

Lithostratigrafie	Lagen in eerste versie van numerieke model	Lagen in geactualiseerde versie van numerieke model
Zanden van het Quartair en Neogeen	Laag 6	Laag 7
Klei en silt van de Formatie van Boom	Horizon E	Horizon F
Zanden van de Formatie van Boom, Bilsen, Niel en Zelzate	Laag 5	Laag 6
Kleien van de Formatie van Maldegem	Horizon D	Horizon E
Zanden van de Formatie van Lede, Aalter en Gent	Laag 4	Laag 5
Klei van de Formatie van Gent	Horizon C	Horizon D
Zanden van de Formatie van Tielt	Laag 3	Laag 4
Klei van het Lid van Aalbeke	Horizon B	Horizon C
Zandhoudendeklei van het Lid van Moen	Horizon B	Laag 3
Klei van het Lid van de Mont Héribu en van het Lid van Saint Maur	Horizon B	Horizon B
Zanden van de Groep van Landen	Laag 2	Laag 2
Klei van Landen Groep en ongespleten krijt	Horizon A	Horizon A
Gespleten krijt en gespleten top van sokkel	Laag 1	Laag 1



In tegenstelling tot de eerste versie worden geen constante waarden toegekend aan de horizontale doorlatendheid van de Lagen 1, 2 en 3. Dit is eveneens het geval voor de hydraulische weerstand van de slecht doorlatende lagen (Horizonten A, B en C van geactualiseerde versie). Steunend op de nieuw verworven lithostratigrafische kennis van de Formatie van Kortrijk (Dupuis, Deconinck en Steurbaut, 1991) en op de resultaten van de pompproeven verricht sedert het opstellen van de eerste versie, zal nu een variatie van deze parameterwaarden ingeschat worden. In de volgende delen zal de wijze waarop deze waarden ingevoerd werden per laag besproken worden.

#### 4.2 Horizontale doorlatendheid en doorlaatvermogen van de sokkel

Voor het opstellen van de matrix van de horizontale doorlatendheden van Laag 1 (sokkel en gespleten krijt) werd uitgegaan van de waarden opgesteld voor de tweede simulatie reeks van de eerste versie. Hierbij werd ingespeeld op het vermoeden dat volgens de as Roeselare-Lessen een strook voorkomt met een beter doorlatend gesteente (heterogene toestand). In het model werd volgens deze as een 30 km brede band (fig. 7) ingebouwd waarbinnen het doorlaatvermogen varieerde tussen 5 m<sup>2</sup>/d tot 240 m<sup>2</sup>/d. De waarden namen tevens lineair af vanaf 10 km van de as van de strook naar beide randen toe. Buiten deze band is aan het Massief van Brabant een doorlaatvermogen van 5 m<sup>2</sup>/d toegekend. Op de plaats waar de sokkel bestaat uit kalkstenen van het Bekken van Doornik werd een doorlaatvermogen toegekend van 2000 m<sup>2</sup>/d. In de streek van Aalst werd aan de sokkel een extra kleine doorlaatvermogen van 1 m<sup>2</sup>/d aan de sokkel toegekend.

Vergelijken we deze ingevoerde waarden van de eerste versie van het numerieke model met de afgeleide waarden van de pompproeven dan stellen we vast dat de eerste een veel sterkere variatie vertonen dan de laatste. Daarom wordt de variatie in de ingevoerde waarden bij de geactualiseerde versie verminderd. De maximale waarden voor het doorlaatvermogen van de sokkel bestaande uit de gesteenten van het Massief van Brabant (exclusief het gesteente van het Bekken van Doornik) is dan gelijk aan 82.3 m<sup>2</sup>/d de minimale waarde werd gelijk gesteld aan 5 m<sup>2</sup>/d. De ligging van de as met maximale doorlatendheid wordt echter niet gewijzigd. Naar het noorden toe is de relatieve afname van het doorlaatvermogen analoog, op een factor van 240.0/82.3 na, als bij de eerste versie. Ten zuiden van de band met maximale doorlatendheid, neemt het doorlaatvermogen niet meer af in zuidelijke richting. Hierdoor vermindert het doorlaatvermogen niet meer tot de minimale waarde van 5.0 m<sup>2</sup>/d op de as Kortrijk-Ronse zoals bij de eerste versie. In deze zone verlopen de lijnen van gelijk doorlaatvermogen in een noord-zuid richting. In fig. 8 worden de lijnen van gelijke horizontale doorlatendheid van Laag 1 weergegeven. Vermenigvuldigt men deze waarde met de ingevoerde dikte van Laag 1, nl. 10 m, dan verkrijgt men het ingevoerde doorlaatvermogen van de sokkel. Bij de verschillende simulaties van de sokkel werden twee mogelijkheden beschouwd: een eerste waarbij de sokkel isotroop is en een tweede waarbij de sokkel anisotroop is. Bij de anisotrope berekening wordt het hierboven besproken doorlaatvermogen gelijk gesteld aan het effectieve doorlaatvermogen. Bij deze anisotrope simulaties werd de laterale anisotropie gelijk gesteld aan 1.78 en de richting met maximale doorlatendheid is gelijk aan N 81.37 E. Dit komt overeen met de gemiddelde van waarden afgeleid met de pompproeven (zie Tabel 2, Deel 3.1.2).

#### 4.3 Horizontale doorlatendheid en doorlaatvermogen van de zanden van de Landen Groep

Bij de geactualiseerde versie van het model zal rekening gehouden worden met de variatie van de doorlatendheid van de tertiaire afzettingen. Hierbij wordt aangenomen dat de doorlatendheid gelijk is op een lijn die evenwijdig loopt met de grenzen van sedimentatiezones binnen de Ieper Groep zoals aangeduid door King (1988) (p. 368). Loodrecht op deze lijnen neemt de doorlatendheid dan af in NNW richting. Voor de zanden van de Landen Groep stellen we dat de horizontale doorlatendheid op de lijn Rijsel-Ronse-Elst de horizontale doorlatendheid gelijk is aan 1.20 m/d. In NNW richting neemt de doorlatendheid af volgens een logaritmische functie:

$$K_{LG}^h(I, J) = 1.20 \times 10^{-eI \times D(I, J)/60} \quad (1)$$

Waarbij  $D(I, J)$  de afstand is van het nodale punt  $I, J$  tot de lijn Rijsel-Ronse-Elst in km. De afstand is positief in NNW richting en negatief in SSE-richting en  $e$  de logaritme van 9. Overal waar de afstand  $D(I, J)$  groter is dan 60 km wordt de horizontale doorlatendheid van de zanden van de Landen Groep gelijk gesteld aan één waarde, nl. 0.133 m/d.

De aldus berekende waarden van de horizontale doorlatendheid worden vermenigvuldigd met de afgeleide dikte van deze zanden om het doorlaatvermogen van deze zanden te verkrijgen. Deze afgeleide dikten werden overgenomen bij de eerste versie van het model. Het aldus bekomen doorlaatvermogen in ieder nodaal punt wordt dan gedeeld door de constante ingevoerde dikte van Laag 2, nl. 11 m, om de ingevoerde waarde te bekomen van de horizontale doorlatendheid van Laag 2. In fig. 9 worden de lijnen voorgesteld van de ingevoerde waarden van deze horizontale doorlatendheid van Laag 2.

#### 4.4 Horizontale doorlatendheid en doorlaatvermogen van de zandhoudende klei van het Lid van Moen

Bij het berekenen van het doorlaatvermogen van het Lid van Moen wordt verondersteld dat de verhoudingen tussen de dikte van de zwaardere en lichtere afzettingen van het Lid van Moen enerzijds en de dikte van de Formatie van Kortrijk anderzijds overal gelijk is aan de waargenomen verhoudingen te Elst. De lichtere afzettingen van het Lid van Moen maken er 21.5% uit van de Formatie van Kortrijk (de vroegere Ieperse klei), de zwaardere afzettingen 27.5%. Ook hier wordt aangenomen dat de doorlatendheid van zowel de zwaardere als de lichtere afzettingen afneemt in NNW richting. Op de lijn Rijsel-Ronse-Elst, die evenwijdig loopt met de grenzen met de sedimentatiezones van de Ieper Groep (King, 1991), wordt gesteld dat de horizontale doorlatendheid van het lichter afzettingen van het Lid van Moen gelijk is aan 0.103 m/d terwijl de zwaardere afzettingen een horizontale doorlatendheid hebben van 0.0103 m/d.

De horizontale doorlatendheid van het lichter gedeelte van het Lid van Moen neemt af in NNW richting overeenkomstig volgende formule:

$$K_{LVM}^h(I, J) = 0.103 \times 10^{-(2.41) \times D(I, J)/60} \quad (2)$$

Waarbij  $D(I, J)$  de afstand is van het nodale punt  $I, J$  tot de lijn Rijsel-Ronse-Elst in km en

waarbij  $e_1$  hier gelijk gesteld wordt aan de logaritme van 9. De afstand is positief in NNW richting en negatief in SSE-richting. Overal waar de afstand  $D(I,J)$  groter is dan 60 km wordt de horizontale doorlatendheid van de lichtere afzettingen van het Lid van Moen gelijk gesteld aan één waarde, nl. 0.0103/900 m/d of 0.000114 m/d.

De horizontale doorlatendheid van het zwaardere gedeelte van het Lid van Moen neemt af in NNW richting overeenkomstig volgende formule:

$$k_{ZLM}^h(I, J) = 0.0103 \times 10^{-(1+e_1) \times D(I,J)/60} \quad (3)$$

Waarbij  $D(I,J)$  de afstand is van het nodale punt  $I,J$  tot de lijn Rijsel-Ronse-Elst in km en  $e_1$  hier terug gelijk gesteld wordt aan de logaritme van 9. De afstand is positief in NNW richting en negatief in SSE-richting. Overal waar de afstand  $D(I,J)$  groter is dan 60 km wordt de horizontale doorlatendheid van de zwaardere afzettingen van het Lid van Moen gelijk gesteld aan één waarde, nl. 0.0103/90 m/d of 0.000114 m/d. Dit is er dezelfde waarde als de lichtere afzettingen. Hierdoor veronderstellen we dat er 60 km NNW van de lijn Rijsel-Ronse-Elst geen differentiatie niet meer is binnen het Lid van Moen en zelfs binnen de Formatie van Kortrijk (zie delen 4.5 en 4.6). Dit stemt overeen met de lithostratigrafische inzichten van Geets (1991), Steurbaut (1991) en De Coninck (1991).

Met de vergelijkingen 2 en 3 kan nu de horizontale doorlatendheden van de zwaardere en de lichtere afzettingen van het Lid van Moen berekend worden. Deze waarden worden dan vermenigvuldigd met respectievelijk 0.275 en 0.215 van de dikte van de Formatie van Kortrijk zoals afgeleid bij de eerste versie van het model. Door het sommeren van de beide produkten bekomen we aldus een schatting van het doorlaatvermogen van het Lid van Moen in ieder nodaal punt. Door deze doorlaatvermogens te delen door de constant ingevoerde dikte van Laag 3, nl. 45.5 m, worden de ingevoerde waarden van de horizontale doorlatendheden van Laag 3 bekomen. In fig. 10 worden de isolijnen voorgesteld van de ingevoerde waarden van de horizontale doorlatendheid van Laag 3.

#### 4.5 Verticale doorlatendheid en hydraulische weerstand van het ongespleten krijt en de klei van de Landen Groep

Van deze afzettingen is tot nu toe weinig gekend over hun hydraulische parameters. Bij de eerste versie van het numeriek model werd overal één constante waarde aangenomen van 32,000. d. Bij de geactualiseerde versie wordt ook hier verondersteld dat de verticale doorlatendheid afneemt in NNW-richting op dezelfde wijze als de afzettingen in de Formatie van Kortrijk. Deze veronderstelling kan nog in een bepaalde mate ondersteund worden voor de afzettingen van de Landen Groep (De Geyter, 1988). Momenteel, is er echter een groot hiaat op het gebied van de lithostratigrafische kennis van de krijtafzettingen. Dit is nog meer het geval voor de hydraulische kenmerken van deze afzettingen.

Er wordt verondersteld dat de hydraulische weerstand per meter kleiafzetting varieert in een gebied gelegen tussen twee evenwijdige rechten. Deze rechten zijn evenwijdig aan de lijn Rijsel-Ronse-Elst en liggen 60 km ten NNW en 30 km ten SSW ervan. Deze hydraulische weerstand varieert er volgens de formule:

Waarbij  $D(I,J)$  de afstand is van het nodale punt  $I,J$  tot de lijn Rijsel-Ronse-Elst in km. De afstand is positief in NNW richting en negatief in SSE-richting en  $e_1$  de logaritme van

(4)

$$C_{K+LG}^{1m}(I, J) = 1,666.7 \times 10^{e1 \times D(I, J)/60}$$

9. Overal waar de afstand  $D(I, J)$  groter is dan 60 km wordt de hydraulische weerstand per meter klei van de Landen Groep gelijk gesteld aan één waarde,  $1,666.7 \times 9$  of 15,000 d. Dit komt overeen met een harmonisch gemiddelde verticale doorlatendheid van  $6.67 \times 10^{-5}$  m/d.

De totale hydraulische weerstand van het ongespleten krijt en van de klei van de Landen Groep wordt bekomen door de hydraulische weerstand per meter afzetting die voor ieder nodaal punt wordt berekend overeenkomstig vergelijking (4) te vermenigvuldigen met de overeenkomende dikte van deze afzettingen. Deze dikte werd berekend bij het opstellen van de eerste versie van het model. Deze waarden werden hier ongewijzigd overgenomen. In fig. 11 worden de isolijnen van de totale hydraulische weerstand van Horizon A van de geactualiseerde versie voorgesteld. Dit is de totale hydraulische weerstand van het ongespleten krijtafzettingen en van de klei van de Landen Groep.

#### 4.6 Verticale doorlatendheid en hydraulische weerstand van de klei van het Moen Lid, het Mont Héribu Lid en het Saint Maur Lid

Tot nu toe is de hydraulische weerstand van deze leden op één enkele plaats (Elst) nauwkeurig bepaald met behulp van een pompproef en het waargenomen verticale stijghoogteverhang. Voor 40.5 m afzettingen van het Lid van Mont Héribu en van het Lid van Saint Maur werd er een hydraulische weerstand van 220,000. dagen afgeleid (zie deel 3.3.5). Bij het berekenen van de hydraulische weerstand van de drie leden wordt verondersteld dat de verhoudingen tussen de dikten van deze drie leden enerzijds en de dikte van de Formatie van Kortrijk anderzijds in het model gebied overal gelijk is. Deze verhoudingen werden gelijk gesteld aan deze teruggevonden in de boring van Elst. De zwaardere gedeelte van het Lid van Saint Maur maken 19% uit van de dikte van de Formatie van Kortrijk, het lichter gedeelte 13%. Het lid van de Mont Héribu omvat eveneens 13% van de dikte van de Formatie van Kortrijk. Deze verhoudingen voor de lichtere en de zwaardere afzettingen van het Lid van Moen werden reeds vermeld in deel 4.4.

Ook hier wordt aangenomen dat de hydraulische weerstand per meter afzetting, of ook de verticale hydraulische doorlatendheid constant is op een lijn die evenwijdig loopt met de grenzen van sedimentatiezones binnen de Ieper Groep zoals aangeduid door King (1988) (p. 368). Loodrecht op deze lijnen neemt de doorlatendheid dan af in NNW richting. Voor de klei van het Mont Héribu lid stellen we dat op de lijn Rijsel-Ronse-Elst de hydraulische weerstand per meter afzetting gelijk is aan 3,000. dagen. In NNW richting neemt de hydraulische weerstand van het Mont Héribu Lid toe volgens een logaritmische functie:

(5)

$$C_{L+MH}^{1m}(I, J) = 3,000. \times 10^{e1 \times D(I, J)/60}$$

Waarbij  $D(I, J)$  de afstand is van het nodale punt I, J tot de lijn Rijsel-Ronse-Elst in km. De afstand is positief in NNW richting en negatief in SSE-richting en e1 de logaritme van

9. Overall waar de afstand  $D(I,J)$  groter is dan 60 km wordt de hydraulische weerstand per meter afzetting van het Mont Héribu Lid gelijk gesteld aan één waarde,  $3,000 \cdot 9$  dagen of 27,000. dagen.

Voor de klei van het zwaardere gedeelte van het Saint Maur Lid stellen we dat op de lijn Rijsel-Ronse-Elst de hydraulische weerstand per meter afzetting gelijk is aan 9,000. dagen. In NNW richting neemt de hydraulische weerstand van het Saint Maur Lid overeenkomstig de volgende vergelijking:

$$C_{z/LvSM}^{1m}(I, J) = 9,000 \cdot 10^{(eI - 0.4771) \times D(I,J)/60} \quad (6)$$

Waarbij  $D(I,J)$  de afstand is van het nodale punt I,J tot de lijn Rijsel-Ronse-Elst in km. De afstand is positief in NNW richting en negatief in SSE-richting en  $e$  de logaritme van 9. Overall waar de afstand  $D(I,J)$  groter is dan 60 km wordt de hydraulische weerstand per meter afzetting van het Mont Héribu Lid gelijk gesteld aan één waarde,  $9,000 \cdot 9/3$  of 27,000. dagen. Op deze plaatsen is dit dezelfde waarde als het er onderliggende Mont Héribu Lid.

De variatie van de hydraulische weerstand van het lichter gedeelte van het Saint Maur Lid werd identiek verondersteld als de variatie verondersteld voor het Mont Héribu Lid (zie vergelijking 5). De variatie van de hydraulische weerstand (in d) van 1 m van het zwaardere afzettingen van het Moen Lid wordt gegeven door de volgende formule:

$$C_{z/LvM}^{1m}(I, J) = 587.24 \times 10^{(eI + 0.7083) \times D(I,J)/60} \quad (7)$$

Waarbij  $D(I,J)$  de afstand is van het nodale punt I,J tot de lijn Rijsel-Ronse-Elst in km. De afstand is positief in NNW richting en negatief in SSE-richting en  $e$  de logaritme van 9. Overall waar de afstand  $D(I,J)$  groter is dan 60 km wordt de hydraulische weerstand per meter afzetting van het zwaardere afzettingen terug gelijk aan één waarde,  $587.24 \cdot 9 \cdot 5.11$  dagen of 27,000. dagen. Op deze plaatsen is dit dezelfde weerstand als de eronderliggende leden van de Mont Héribu en van Saint Maur.

Ook voor één meter van de lichtere afzettingen van het Lid van Moen wordt een variatie van de hydraulische weerstand verondersteld zodat de hydraulische weerstand te Elst gelijk is aan de teruggevonden waarde en dat de weerstand op meer dan 60 km afstand van de lijn Rijsel-Ronse-Elst gelijk is aan de hydraulische weerstand van 1 m van alle andere afzettingen van de Formatie van Kortrijk. De variatie van de hydraulische weerstand (in d) van 1 m van het lichtere afzettingen van het Moen Lid wordt gegeven door de volgende formule:

$$C_{l/LvM}^{1m}(I, J) = 58.724 \times 10^{(eI + 1.7083) \times D(I,J)/60} \quad (8)$$

Overall waar de afstand  $D(I,J)$  groter is dan 60 km wordt de hydraulische weerstand per meter lichtere afzettingen terug gelijk aan één waarde,  $58.724 \cdot 9 \cdot 51.1$  dagen of 27,000. dagen.

De totale hydraulische weerstand van het Mont Héribu Lid, het St. Maur Lid en het Moen Lid wordt nu bepaald aan de hand van de hier bovengenoemde diktefracties van



ieder Lid t.o.v de totale dikte van de Formatie van Kortrijk (de vroegere Ieperse klei), de met de vergelijkingen (5), (6), (7) en (8) ingeschatte laterale variatie van de hydraulische weerstanden van de verschillende afzettingen en met de dikte van de Formatie van Kortrijk in ieder nodaal punt. Deze afgeleide dikten werden overgenomen bij de eerste versie van het model. Indien  $DI_{FvK}(I,J)$  de dikte is van de Formatie van Kortrijk is van de cel van de I-de kolom en de J-de rij dan is er de totale hydraulische weerstand tussen de Lagen 2 en 3,  $c(I,J,2)$  gelijk aan:

$$c(I, J, 2) = DI_{FvK}(I, J) \times [0.13 c_{LvMH}^{1m}(I, J) + 0.19 c_{zLvSM}^{1m}(I, J) + 0.13 c_{ijLvSM}^{1m}(I, J) + 0.275 c_{zLvM}^{1m}(I, J) + 0.215 c_{ijLvM}^{1m}(I, J)] \quad (9)$$

waarbij

$$c_{ijLvSM}^{1m}(I, J) = c_{LvMH}^{1m}(I, J) \quad (10)$$

voor alle cellen I,J van het geactualiseerde model.

In fig. 12 worden de lijnen voorgesteld van de ingevoerde waarden van de hydraulische weerstand tussen de Lagen 2 en 3 van de geactualiseerde versie.

#### 4.7 Verticale doorlatendheid en hydraulische weerstand van de klei van het Aalbeke Lid

Door de gezamenlijke interpretatie van een drievoudige pompproef binnen de Ieper Groep te Elst en het er waargenomen verticale stijghoogteverhang kon de hydraulische weerstand van het Lid van Aalbeke er eenduidig bepaald worden. Het lid van Aalbeke, die er een dikte bereikt van 6 m, heeft er een hydraulische weerstand van 45,500. dagen. Ook hier zal verondersteld worden dat de variatie van de hydraulische weerstand van 1 m van het lid van Aalbeke zodanig is dat deze op de lijn Rijsel-Ronse-Elst gelijk is aan de teruggevonden waarde te Elst en dat de weerstand op meer dan 60 km afstand van de lijn Rijsel-Ronse-Elst gelijk is aan de hydraulische weerstand van 1 m van alle andere afzettingen van de Formatie van Kortrijk. De variatie van de hydraulische weerstand (in d) van 1 m van het Lid van Moen wordt gegeven door de volgende formule:

$$c_{LvA}^{1m}(I, J) = 7,500 \times 10^{(e1-0.4000) \times D(I,J)/60} \quad (11)$$

Overall waar de afstand  $D(I,J)$  groter is dan 60 km wordt de hydraulische weerstand per meter lichtere afzettingen terug gelijk aan één waarde, 7,500. \* 9 / 2.5 dagen of 27,000. dagen. In fig. 13 worden de isolijnen voorgesteld van de ingevoerde waarden van de hydraulische weerstand tussen de Lagen 3 en 4 van de geactualiseerde versie.

#### 4.8 Verdere beschouwingen bij de parameterisatie van de afzettingen behorend tot de Formatie van Kortrijk

Bij het invoeren van de variatie van de doorlatendheid van de belangrijkste bedekkende lagen wordt rekening gehouden met de beperkte kennis van de transversale en laterale veranderingen van de afzettingen. In het zuidelijke gedeelte van Vlaanderen is de

#### 4.8 Verdere beschouwingen bij de parameterisatie van de afzettingen behorend tot de Formatie van Kortrijk

Bij het invoeren van de variatie van de doorlatendheid van de belangrijkste bedekkende lagen wordt rekening gehouden met de beperkte kennis van de transversale en laterale veranderingen van de afzettingen. In het zuidelijke gedeelte van Vlaanderen is de transversale variatie van de afzetting nu duidelijk. Men kan er vrij gemakkelijk de Formatie van Kortrijk opdelen in vier leden. De hydraulische weerstand van ieder lid werd op één plaats, Elst, vrij goed bepaald.

De kennis over de laterale variatie van de afzettingen en van hun doorlatendheid binnen de Formatie van Kortrijk is vager. Tot nu toe kunnen we deze laterale variatie enkel kwalitatief omschrijven. De afzettingen in de Formatie van Kortrijk worden zwaarder naar het NNW toe. De verschillende leden binnen de Formatie van Kortrijk kunnen niet meer van elkaar onderscheiden worden in het noordelijke gedeelte en in het bijzonder het noordwestelijke gedeelte van Vlaanderen. Over de laterale variatie van de hydraulische weerstanden van de verschillende leden is er echter niets geweten.

Bij de invoer van de hydraulische doorlatendheden van de Formatie van Kortrijk werd niet alleen rekening gehouden met de bestaande kennis bovendien werd er naar gestreefd om het aantal parameters die deze laterale variatie beschrijft zo beperkt mogelijk te houden. Dit is met het oog op een toekomstige ijking van het model met een invers model. De laterale variatie wordt er beschreven door slechts twee parameters. De eerste parameter *e1* geeft de afstand ten NNW van Elst aan waar de afzettingen binnen de Formatie van Kortrijk transversaal niet meer te onderscheiden zijn (hier is *e1* gelijk gesteld aan 60 km). De tweede parameter geeft de richting aan van de lijn die door Elst loopt en waar de verticale en horizontale doorlatendheden van de verschillende afzettingen van de Formatie van Kortrijk gelijk zijn. Tenslotte kan nog gewezen worden op het feit dat bij de aangenomen variaties van de horizontale en verticale doorlatendheden de aldus veronderstelde anisotropie afneemt van Elst in de richting dat de afzettingen meer homogeen worden. Dit stemt overeen met de algemeen aanvaarde hydrogeologische kennis dat hoe homogener een afzetting is hoe kleiner de macroscopische anisotropie is van deze afzetting.

Toekomstig onderzoek zowel wat betreft de lithostratigrafische kenmerken (korrelgrootte verdeling, minerale samenstelling van de kleien, ...) als wat betreft de hydraulische parameters (vooral verticale en horizontale doorlatendheid) zouden moeten uitwijzen of het hier geopperde model zou kunnen aanvaard worden. Daarna zou men kunnen overgaan tot de calibratie door middel van een invers model. Alvorens echter over te gaan tot een calibratie met een invers model zou men echter een aantal problemen van opschaling moeten oplossen (zie deel 5.3).

## 5. Overzicht van simulaties met geactualiseerde model

### 5.1 Inleiding

Als eerste stap werden de verschillende mogelijkheden onderzocht om de Formatie van Kortrijk in het numeriek model in te bouwen. Deze onderzochte mogelijkheden betreffen vooral de laterale variatie van het doorlaatvermogen van Laag 3 en de laterale variatie van de hydraulische weerstanden van de eronder- en erbovenliggende horizonten B en C van de geactualiseerde versie. Bij het berekenen van de hydraulische weerstand van de horizonten werden verschillende mogelijkheden onderzocht om laterale variaties in diktes en verticale doorlatendheden van de leden binnen de Formatie van Kortrijk aan te nemen. Van elke mogelijkheid werd een simulatie uitgevoerd en onderling vergeleken. Hieruit bleek dat de schematisatie zoals besproken in deel 4, het best overeenkomt met de nieuwe lithostratigrafische inzichten en de nieuwe gegevens over de hydraulische parameters. Bij het invoeren van deze nieuwe schematisatie en het overeenkomstige stel van hydraulische parameters bleek onmiddellijk dat de aldus berekende hydraulische weerstanden van de horizonten B en C te gering zijn. Ze veroorzaken een te grote lek naar de diepere watervoerende lagen en hebben een te kleine depressietrechter als gevolg.

In het volgende deel worden aan de hand van een reeks simulatieresultaten geïllustreerd hoe de grootte en diepte van de depressietrechter vooral bepaald wordt door het opgepompte debiet en de hydraulische weerstand toegekend aan de afzettingen van de Formatie van Kortrijk. Dit zijn de twee belangrijkste factoren die tot nu toe het minst nauwkeurig gekend zijn en daarenboven een grote invloed hebben op de grootte en diepte van de depressietrechter. Verder zal aangetoond worden dat de parameters die de grootte en de richting van de anisotropie bepalen slechts van een geringe invloed hebben op de grootte en de diepte van de depressietrechter.

De resultaten van acht verschillende simulaties uitgevoerd met de geactualiseerde versie van het model zullen door middel van de figuren in dit verslag opgenomen en besproken worden (zie tabel 5). Het onderlinge verschil tussen de verschillende simulaties ligt slechts bij verschillende waarden toegekend aan drie parameters: de hydraulische weerstand van de Formatie van Kortrijk, de opgepompte debieten en de doorlatende eigenschappen van de sokkel. Wat betreft de doorlatende eigenschappen van de sokkel worden er twee mogelijkheden beschouwd: de heterogeen isotrope en de heterogeen anisotrope mogelijkheid. Telkens wordt gesteld dat de sokkel heterogeen is. Hierbij wordt een laterale variatie aangenomen dat het doorlaatvermogen (bij isotropie) of het effectieve doorlaatvermogen (bij anisotropie) zoals beschreven in deel 4.2. Bij de simulaties van een anisotrope sokkel, werd de anisotropie gelijk gesteld aan 1.78 en werd de richting met maximale doorlatendheid gelijk gesteld aan N 81.37 E (zie deel 3.1.2). De tweede hydraulische parameter waarvan de waarden afhankelijk zijn van de uitgevoerde simulatie was de hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk. De waarden van de hydraulische weerstand bekomen met de vergelijking (9) en (11) werden vermenigvuldigd met 2.50, 8.00 of 25.0.

Voor wat betreft de pompingen werden twee verschillende mogelijkheden beschouwd. De eerste mogelijkheid waarbij de geschatte pomping in de sokkel beschouwd wordt ( $C_{\text{pomping}}=1.0$ ), de tweede mogelijkheid waarbij de ingeschatte pompingen vermenigvuldigd worden met 2.0 ( $C_{\text{pomping}}=2.0$ ). Het bestand van de geschatte pomping werd

opgesteld met gegevens bekomen na verschillende fasen van het sokkel onderzoek. Eerst en vooral zijn dit de opgepompte debieten verzameld door wetenschappelijke medewerkers van de Rijksuniversiteit Gent tijdens de periode voorafgaand aan de ijking van de eerste versie van het numeriek model. Deze werden aangevuld tijdens de ijking van dit model. Tenslotte werd ook rekening gehouden met nieuwe winningen teruggevonden in de databank opgesteld in de eerste helft van de jaren negentig door de administratie van het Vlaams Gewest.

Tabel 5. Overzicht van de verschillende simulatie bij de ijking van de geactualiseerde versie van het model.  $C_{\text{For.Kortrijk}}^s$  is de factor waarmee de aanvankelijk ingeschatte hydraulische weerstand van de afzettingen in de Formatie van Kortrijk vermenigvuldigd worden.  $C_{\text{pomping}}$  is de factor waarmee de pompingen vermenigvuldigd worden.

Simulatie Nummer	Doorlatendheid sokkel	Factor $C_{\text{For.Kortrijk}}^s$	Factor $C_{\text{pomping}}$	Figuren
1	heterogeen isotroop	2.50	1.0	14. 15
2	heterogeen anisotroop	2.50	1.0	16. 17
3	heterogeen isotroop	8.00	1.0	18. 19
4	heterogeen anisotroop	8.00	1.0	20. 21
5	heterogeen isotroop	25.0	1.0	22. 23
6	heterogeen anisotroop	25.0	1.0	24. 25
7	heterogeen isotroop	8.00	2.0	26. 27
8	heterogeen anisotroop	8.00	2.0	28. 29

## 5.2 Resultaten van enkele simulaties

Bij de eerste twee simulaties wordt de hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk vermenigvuldigd met een factor 2.5. Indien we echter de stijghoogte van de simulatie nr. 1 (isotrope sokkel) en simulatie nr. 2 (anisotrope sokkel) vergelijken met de waargenomen afpompingsrechters dan is de aldus gesimuleerde afpompingsrechters te weinig uitgediept. De minimale gesimuleerde stijghoogte van de sokkel is -60 m TAW (isotroop) of -50 m TAW (anisotroop). Deze minimale stijghoogte komt voor in de belangrijkste noordelijke winning bij Brugge. In de zone met de sterkste winning, in centraal tot zuid West-Vlaanderen, is de afpompingsrechters er zeer ondiep en klein in laterale uitbreiding. De mogelijke verklaringen hiervoor is dat de hydraulische weerstand van de Ieperse klei (of klei van de Formatie van Kortrijk) bij deze simulaties te gering zijn en/of dat de ingevoerde debieten te klein zijn. Door een geringe waarde zou de gesimuleerde lek doorheen de bedekkende Ieperse klei te groot zijn en resulteren in een te ondiepe en te kleine afpompingsrechters. Door het invoeren van grotere hydraulische weerstanden zou de gesimuleerde lek doorheen de klei naar de diepere watervoerende lagen geringer zijn en zou men aldus een diepere afpompingsrechters simuleren.

Bij de volgende twee simulaties wordt de hydraulische weerstand berekend volgens de vergelijkingen (9) en (11) vermenigvuldigd met een factor 8.0. De resultaten van deze simulaties waarbij gepompt wordt met de ingeschatte debieten (simulatie nr. 3 en nr. 4) geven een afpompingsrechters die dieper is dan bij de simulaties nr. 1 en nr. 2. De

minimaal berekende stijghoogte is er -70 m TAW (anisotroop) of -80 m TAW (isotroop). De gesimuleerde depressietrechter onder centraal- en zuid-West-Vlaanderen wordt nu belangrijk maar is nog steeds te ondiep.

Bij derde reeks van twee simulaties wordt de hydraulische weerstand van de Formatie van Kortrijk nog verder vergroot (simulatie nr. 5, isotrope sokkel, en simulatie nr. 6, anisotrope sokkel). De weerstanden berekend met de vergelijkingen (9) en (11) worden vermenigvuldigd met een factor 25.0. De aldus gesimuleerde depressiekegel onder centraal- en zuid-West-Vlaanderen krijgt nu een diepte die vergelijkbaar wordt met de waargenomen diepte van de depressietrechter. De minimale stijghoogte is er -120 m TAW (anisotroop) of -130 m TAW (isotroop). De depressietrechter heeft echter een relatief grote laterale uitbreiding. Hierdoor worden relatieve lage stijghoogten in de sokkel gesimuleerd onder de Frans- en West-Vlaamse heuvelrug. De lek is er relatief gering zodat het verloop van de lijnen van gelijke stijghoogte hoofdzakelijk bepaald wordt door de pumping in de diepere watervoerende lagen. Dit verloop wordt er nauwelijks beïnvloed door de grotere lek onder dit hoger gelegen gebied.

Met de vierde reeks van twee simulatie wordt aangetoond dat een vergelijkbare diepe depressietrechter kan bekomen worden als in de simulatie nr. 5 en 6. Een dergelijk diepe trechter kan bekomen worden door het aannemen van een groter aangepompt debiet te veronderstellen en terug een grotere lek door de Formatie van Kortrijk toe te laten. In de simulaties nr. 7 en 8 wordt de hydraulische weerstand berekend volgens vergelijking (9) en (11) vermenigvuldigd met een factor 8.0 terwijl de ingeschatte debieten er vermenigvuldigd worden met een factor 2.0. De berekende depressie trechter is nu steiler dan bij de twee vorige simulaties. Hierdoor zijn de minimale gesimuleerde stijghoogten in de sokkel kleiner dan bij de vorige simulaties maar is de maximale stijghoogte hoger onder de hoger gelegen gebieden. Onder de Frans- en West-Vlaamse heuvelrug krijgen we aldus een stijghoogte van ca. 30 m TAW.

### 5.3 Voorlopig best passend scenario overeenkomstig alle hydrogeologische waarnemingen

De twee laatste simulaties kan men voorlopig beschouwen als het scenario dat het best strookt men alle tot nu toe verricht hydrogeologische onderzoek. Omwille van verschillende redenen kan men tot nu toe niet overgaan tot een gedetailleerdere ijking door middel van een invers modellering. Een eerste reden is dat de waargenomen stijghoogten voornamelijk geconcentreerd zijn in de depressietrechter. Tot nu toe zijn stijghoogten die waargenomen zijn onder de belangrijkste voedingsgebieden en die bovendien voldoende ver van de grenzen van het model gelegen zijn, zeer beperkt in aantal. Er zijn ook weinig stijghoogtegegevens voorhanden in gebieden waar er relatief weinig gepompt wordt maar waar er een relatieve grote stijghoogtegradiënt bestaat naar de gebieden met zware pumping. Zo zouden stijghoogten waargenomen op de lijn Middelkerke-Koekelare-Edewalle van groot nut zijn. Op de lijn Kanegem-Sleidinge-Kluizen zouden eveneens zeer interessante stijghoogtewaarnemingen kunnen verricht worden voor het ijken van het model. Het waarnemen van de stijghoogten in de ondiepste watervoerende laag gevormd in de zanden van de Landen Groep zou reeds voldoende zijn. Deze voorgestelde lijnen gelden zolang blijkt dat er geen belangrijke grondwaterwinningen voorkomen langs deze lijnen in één van de twee diepe watervoerende lagen. Uit de huidige gegevens blijkt dit tot nu toe niet het geval.

Een tweede probleem, die zou moeten bestudeerd worden, is de wijze waarop stijghoogten, zoals tot heden waargenomen in pompputten, kunnen gebruikt worden voor de ijking van het numerieke model. Ze kunnen onmogelijk op een zelfde wijze aangewend worden als stijghoogten gemeten in peilputten die relatief ver van winningsputten gelegen zijn. De meeste van de verzamelde stijghoogtegegevens worden opgemeten in winningsputten na een variabele periode na het stilleggen van de pomp. Na een relatieve korte periode van rust of zelfs tijdens de werking van de pomp worden zeer kleine stijghoogten gemeten in de pompput. Bij werking van de pomp is de stijghoogte in de pompput niet alleen afhankelijk van de stroming in de watervoerende laag maar ook van de stroming in de put zelf en in de onmiddellijke omgeving van de pompput. De stroming in de put zelf is afhankelijk van de plaats van de pomp ten opzichte van de waterleverende niveaus of intervallen. De stroming in de onmiddellijke omgeving van de pompput wordt sterk bepaald door de eigenschappen van de sokkel op een kleine schaal rond de pompput en door de ontwikkelingsgraad van de pompput. De waargenomen stijghoogten in winningsputten wordt tevens sterk bepaald door de evolutie van de opgepompte debieten in winningsputten in de omgeving. Iedere put geeft een verschillende omringingsgraad van andere winningsputten. De stijghoogten berekend met numerieke modellen zijn eveneens een functie van de modelparameters zoals hier de afmetingen van de eindig-verschil cellen. Dit laatste probleem zou kunnen bestudeerd worden door de vergelijkingen van verlag-ingen berekend met het numeriek model met resultaten van schaalonafhankelijk rekenmethodes. Uit deze studie zou men kunnen afleiden dat de beste waarnemingen verricht worden in zuivere waarnemingsputten op een relatieve grote afstand van plaatsen waar gepompt wordt. Bovendien zou men er een methode moeten afleiden om waargenomen stijghoogten in winningsputten met een verschillende omringingsgraad op een geschikte wijze te vergelijken met de met het numeriek model berekende stijghoogten.

Opschalingsprobleem treden hier niet alleen op bij de vergelijking van de gesimuleerde stijghoogte met waargenomen stijghoogten in gebieden met een relatief dicht net van winningsputten. Deze opschalingsproblemen zijn ook van belang in infiltratiegebieden. Zowel bij de eerste versie als bij de geactualiseerde versie van het numeriek model wordt de stijghoogte in de freatisch watervoerende laag constant gehouden. Per eindige verschil cel werd deze constante waarde afgeleid uit de hoogtelijnenkaart van het NGI. Daar het grootste deel van het modelgebied relatief vlak is, was er dan ook geen probleem om een gemiddelde hoogte van het maaiveld en van de watertafel in te schatten. Dit was echter iets moeilijker voor het Frans- en West-Vlaamse heuvelgebied. Deze problemen waren nog groter in het Schelde-Leie interfluvium en waren het grootst in het Schelde-Dender interfluvium. In dit laatste gebied wisselt de laterale uitbreiding van heropvullingsgebieden en afvloeigebieden met elkaar sterk af. Deze laterale afwisseling van heropvullings- en afvloeigebieden gebeurt op een schaal die kleiner is dan de grootte van de cellen van het toegepaste eindig-verschil netwerk. In dergelijke cellen is de juiste inschatting van de lek naar de diepere watervoerende lagen problematisch. Een mogelijke oplossing zou de drastische vermindering zijn van de afmetingen van de eindige-verschil cel in deze gebieden van het numeriek model. Een andere mogelijkheid zou erin bestaan deze lek in te schatten door uitsluitend deze gebieden te modelleren met een apart numeriek model waarvan de eindige-verschil cellen voldoende klein zijn. De aldus gesimuleerde lek zou dan rechtstreeks in het model met de grotere eindige verschil cellen worden ingevoerd.



### 5.3 Gevoeligheidsanalysen

Door middel van gevoeligheidsanalysen worden de invloeden bestudeerd van de twee hydraulische parameters die een belangrijke invloed hebben op de gesimuleerde stijghoogten van de diepere watervoerende lagen en waarvan tot nu toe de minst nauwkeurige informatie voorhanden is. Deze hydraulische parameters zijn enerzijds de hydraulische weerstand van de afzettingen van de Formatie van Kortrijk en anderzijds de opgepompte debieten. Deze gevoeligheden worden vergeleken met de gevoeligheden van de berekende stijghoogten van andere hydraulische parameters.

In figuren 30 en 31 worden de gevoeligheden weergegeven van de berekende stijghoogten van de beide diepere watervoerende lagen ten opzichte van de opgepompte debieten. Deze gevoeligheden worden bekomen door het verschil te maken tussen de resultaten van twee simulaties. Bij de eerste simulatie worden de stijghoogten berekend overeenkomstig simulatie nr. 7 (zie tabel 5). Hierbij wordt verondersteld dat de sokkel zich hydraulische gedraagt als een heterogeen isotroop medium. De hydraulische weerstanden van de klei van de Formatie van Kortrijk die berekend werden volgens vergelijking (9) en (11) worden vermenigvuldigd met een factor 2 terwijl de ingeschatte pumping vermenigvuldigd wordt met een factor 8. Bij de tweede simulatie worden alle hydraulische parameters gelijk gehouden als bij de eerste simulatie met uitzondering van de factor waarmee de ingeschatte pumping vermenigvuldigd wordt. Deze factor wordt bij de tweede simulatie gelijk gesteld aan 2.5. Door het vergroten van deze factor worden alle stijghoogten kleiner. Ze nemen vooral sterk af in de cellen met sterke pumping en in de omringende stellen. Deze absolute waarde van de gevoeligheid vermindert echter sterk lateraal van de pumping weg. Het verschil tussen de gevoeligheden van de stijghoogten van Laag 1 en Laag 2 neemt sterk af met de laterale afstand tot het gebied met de sterke pumping.

In de figuren 32 en 33 worden de gevoeligheden weergegeven van de gesimuleerde stijghoogten van de twee diepere watervoerende lagen ten opzichte van de hydraulische weerstanden van de afzettingen in de Formatie van Kortrijk. Als vergelijkingsbasis wordt terug het resultaat van simulatie nr. 7 gebruikt (zie tabel 5). Dit resultaat wordt vergeleken met een simulatie met identieke hydraulische parameters met uitzondering van de factor waarmee de berekende hydraulische weerstanden van de Formatie van Kortrijk vermenigvuldigd wordt. Deze factor werd gelijk gesteld aan 10 i.p.v. 8 zoals bij simulatie nr. 7. Door het vergroten van deze factor neemt ook hier de gesimuleerde stijghoogte af. In de gebieden met sterke pumping in de twee diepere watervoerende lagen is de afname van deze stijghoogte echter minder sterk dan bij de verandering van het opgepompte debiet. De absolute waarde van de gevoeligheid van stijghoogte ten opzichte van de hydraulische weerstanden is er dus kleiner dan de absolute waarde van de gevoeligheden ten opzichte van de pumping. We stellen echter vast dat de laterale wijziging van de gevoeligheden voorgesteld in de figuren 32 en 33 veel kleiner is dan bij de figuren 30 en 31. Het gebied begrensd door de lijn van -5 m gevoeligheid in de figuren 32 en 33 is groter dan het gebied in de figuren 30 en 31 waarvan de grenzen tevens de lijn is van -5 m gevoeligheid. Buiten deze gebieden is de absolute waarde van de gevoeligheid steeds groter in de figuren 32 en 33 dan in de figuren 30 en 31. Hieruit volgt dat de verdieping van de gesimuleerde depressietrechter het sterkst bepaald wordt door de opgepompte debieten en in een mindere maar niet verwaarloosbare wijze beïnvloed wordt door de hydraulische weerstand van de Formatie van Kortrijk. Een toename van de hydraulische

weerstand van de Formatie van Kortrijk heeft vooral een grotere laterale uitbreiding van de depressietrechter als gevolg.

In de volgende stap worden de berekende stijghoogten van de twee diepe watervoerende lagen van simulatie nr. 7 (lateraal isotrope laag) vergeleken met de stijghoogten berekend volgens simulatie nr. 8 (laterale anisotrope laag, anisotropie = 1.78, hoofdrichting van maximale doorlatendheid N 81.37 E). Het verschil tussen beide berekeningen wordt voorgesteld in de figuren 34 en 35. Hieruit blijkt dat het verschil kleiner is dan bij de vorige twee gevoeligheidsanalysen. In de gebieden met een intense pumping zou de berekende stijghoogte iets groter zijn bij een anistroop veronderstelde sokkel. Aan de randen van deze gebieden is het verschil vooral functie van de richting. In de richting van maximale doorlatendheid berekend men bij een anisotrope sokkel een stijghoogte die kleiner is dan bij een isotrope sokkel. In de richting van minimale doorlatendheid is het tegenovergestelde het geval.

In de laatste stap wordt aangetoond dat de hydraulische weerstand van Horizon A of van de ongespleten krijtafzettingen en de kleiafzettingen van de Landen Groep slechts een beperkte invloed hebben op de gesimuleerde stijghoogten van de twee diepe watervoerende lagen. In de figuren 36 en 37 worden deze gevoeligheden weergegeven van de gesimuleerde stijghoogten van de twee diepere watervoerende lagen. Als vergelijkingsbasis wordt terug het resultaat van simulatie nr. 7 gebruikt (zie tabel 5). Dit resultaat wordt vergeleken met een simulatie met identieke hydraulische parameters met uitzondering van de hydraulische weerstanden van de ongespleten krijtafzettingen en de kleiafzettingen van de Landengroep. Deze hydraulische weerstand is hier overal 1.25 groter dan bij simulatie nr. 7. Uit deze figuren blijkt dat deze hydraulische parameter slechts een zeer geringe invloed heeft op de berekende stijghoogten van de twee diepe watervoerende lagen. Bij de diepere watervoerende laag zijn de stijghoogten het sterkst gevoelig in de zone waar deze laag het grootste doorlaatvermogen heeft. Naar het noorden toe en het minder doorlatende gedeelte van de sokkel nemen de gevoeligheden geleidelijk af in absolute waarde. Op plaatsen met intense pumping in de watervoerende laag gevormd door het zand van de Landen Groep is de gesimuleerde stijghoogte in beide diepe watervoerende lagen iets gevoeliger dan in het omringend gebied. Uit deze vaststelling zou men kunnen besluiten dat de juiste kennis van deze hydraulische parameter van geringer belang is om de stijghoogten in de diepe watervoerende lagen te kunnen simuleren dan de juiste kennis van de opgepompte debieten en de hydraulische weerstand van de afzettingen van de Formatie van Kortrijk.

## 5.4 Natuurlijke grondwaterstromingen

Ter vervollediging werden nog twee simulaties uitgevoerd van de natuurlijke grondwaterstroming. Dit zou de grondwaterstroming en de stijghoogteconfiguratie zijn voordat er belangrijke stromingen in de sokkel plaatsvinden. Bij deze berekeningen werden geen pompingen in het model beschouwd. De grensvoorwaarden van de twee onderste lagen van het numeriek model werden eveneens veranderd. Alle deze grenzen worden nu als ondoorlatend beschouwd. In deze lagen wordt de stijghoogte nu nog constant gehouden in een zeer gering aantal eindige-verschil cellen. In deze cellen dagzomen ofwel de watervoerende laag gevormd door de zanden van de Landen Groep, ofwel de sokkel. Met uitzondering van deze cellen en een beperkt aantal cellen er rond, gebeurt de heropvulling en de afvloeï van de twee diepe watervoerende lagen door een hoofdzakelijk verticale stroming doorheen de slechtdoorlatende laag gevormd door de klei van de Formatie van Kortrijk. Het noordelijke gedeelte van het modelgebied is dan het afvloeigebied van de twee onderste watervoerende lagen met een uitsluitende verticale opwaartse stroming doorheen de klei van de Formatie van Kortrijk. In het zuidelijk gebied zijn twee belangrijke heropvullingsgebieden waar de twee onderste watervoerende lagen: het Frans- en West-Vlaamse heuvelgebied en het Schelde-Dender interfluvium.

In de figuren 38 en 39 worden de berekende stijghoogten van de twee diepe watervoerende lagen weergegeven als er niet gepompt wordt. De hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk berekend volgens vergelijkingen (9) en (11) wordt vermenigvuldigd met een factor 8.0. De sokkel wordt beschouwd als een heterogeen lateraal isotroop medium. Onder de twee belangrijkste heropvullingsgebieden komen nu de maximale stijghoogten voor. Onder het Frans- en West-Vlaamse heuvelgebied wordt hier een maximale stijghoogte van 34 m berekend in de sokkel en 35.2 m in de watervoerende laag gevormd door de zanden van de Landen Groep. Deze waarden worden nu nog waargenomen in dit gebied. Onder het Schelde-Dender interfluvium is de maximaal berekende stijghoogte nog hoger: ca 45 m in beide diepe watervoerende lagen.

Dezelfde berekeningen werden uitgevoerd waarbij verondersteld wordt dat de sokkel zich gedraagt als een lateraal anisotoop medium (anisotropie = 1.78, hoofdrichting van maximale doorlatendheid N 81.37 E). De hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk is analoog als de hierboven beschreven berekeningen. De berekende stijghoogten van de twee diepe watervoerende lagen worden weergegeven in de figuren 40 en 41. Door de vergelijking van deze figuren met de figuren 38 en 39 leiden we af dat het patroon van beide stijghoogteconfiguraties onderling weinig verschilt. De maximale stijghoogten zijn bij de laatste twee figuren een weinig lager dan in de figuren 38 en 39.

Deze berekeningen van de natuurlijke grondwaterstromingen kunnen tot nu toe enkel ter illustratie gebruikt worden. Er zijn bijna geen stijghoogten voorhanden die representatief zijn voor deze toestand. Bijgevolg kan dus geen bijkomende informatie bekomen worden door de toetsing van het model bij de natuurlijke grondwaterstroming.

## 6. Overzicht van de bestanden van de geactualiseerde versie van het numeriek model

### 6.1 Inleiding

Voor de simulatie van de stijghoogten van de sokkel en de bedekkende lagen bij natuurlijke grondwaterstromingen werden een reeks invoerbestanden aangemaakt onder de groepsnaam sokkel6; voor de simulatie van de tegenwoordige stroming met pumping werden een reeks bestanden gemaakt onder de groepsnaam sokkel7. Voor de simulatie van de stromingen werd voorzien in drie uitvoeringsbestanden: KD1KD2SO.EXE, RMOSOI.EXE en RMOSOA.EXE. De resultaten van de resultaten van de beide uitvoeringsprogramma's RMOSOI.EXE en RMOSOA.EXE kunnen op kaarten uitgezet met behulp van het uitvoeringsbestand ISOSOK.EXE. Zowel de uitvoeringsbestanden als invoerbestanden worden hier gedetailleerd besproken.

### 6.2 Bestanden met model parameters en hydraulische parameters

#### 6.2.1 Bestanden voor het simuleren van de permanente stroming bij pumping

Bij de permanente stroming bij pumping zijn er zes invoerbestanden nodig: nl. sokkel7.1, sokkel7.2, sokkel7.33, sokkel7.4 en sokkel7.0. In het bestand sokkel7.0 worden de parameters gegeven die de schematisatie van het grondwaterreservoir bepalen evenals de codes die de grensvoorwaarden beschrijven. In het bestand sokkel7.2 worden de stijghoogtes opgegeven van de grenscellen met constante stijghoogte evenals van de interne cellen van het model met een constante stijghoogte. Ook worden er de cellen aangegeven waarvan de stijghoogte berekend wordt. In het bestand 7.33 en 7.4 staan respectievelijk de schijnbare hydraulische doorlatendheid van iedere laag en de hydraulische weerstand van de verschillende horizonten. In het laatste bestand sokkel worden de opgepompte debieten opgegeven. In de volgende paragrafen wordt de indeling van iedere bestand in detail besproken.

#### Bestand sokkel7.1

In het bestand sokkel7.1 wordt het sleutelwoord DIM opgegeven in indeling A3 op de eerste lijn. Op de tweede lijn wordt het aantal kolommen (83), rijen (67) en lagen (7) opgegeven met de indeling 3I3. Op de volgende negen lijnen wordt de breedte van de kolommen opgegeven met de indeling 10F8.2. Alle kolommen hebben een gelijke breedte, nl. 2000 m of  $BR(I)=2000$  m voor I variërend van 1 tot 87. In de volgende zeven lijnen wordt de breedte van de rijen opgegeven met de indeling 10F8.2. Deze breedte van de rij is ofwel gelijk aan 2000 m (aan de randen van studiegebied) of 1000 m (in het centrale tot zuidelijke gedeelte van het studiegebied) of  $HO(J)=2000$  m voor J variërend van 1 tot 25,  $HO(J)=1000$  m voor J variërend van 26 tot 55 en  $HO(J)=1000$  m voor J variërend van 56 tot 67. Op de negentiende lijn worden de dikte van de verschillende lagen ingevoerd met indeling 10F8.2. Deze zijn onderling verschillend: nl.  $DI(1)=10$  m,  $DI(2)=11$  m,  $DI(3)=45.5$  m,  $DI(4)=9$  m,  $DI(5)=43$  m,  $DI(6)=20$  m en  $DI(7)=50$  m.

Van de twintigste tot en met de zesentachtigste lijn wordt de vorm van het studiegebied weergegeven voor de eerste 80 kolommen met de indeling 80I1. In de

volgende 67 lijnen van het bestand wordt de vorm van het studiegebied vervolledigd met een indeling 3I1. Code 1 betekent dat de eindige-verschil cel tot het studiegebied behoort; code 0 betekend dat de cel niet tot het studiegebied behoort. Op lijn 154 wordt het aantal noordelijke en zuidelijke cellen opgegeven (81) naast het aantal westelijke en oostelijke grenzen (71) met de indeling 2I3.

In de volgende 4x7 lijnen worden de grensvoorwaarden opgegeven met indeling 99I1 voor achtereenvolgens de noordelijke, zuidelijke, westelijke en oostelijke grens voor de zeven lagen. Hier staat code 0 voor een ondoorlatende grens, code 1 voor een vaste stijghoogtegrens. Bij code 2 wordt een overgang tussen beide voornoemde grenzen beschouwd. Bij deze grens wordt de stijghoogte constant gehouden en wordt de doorlatendheid van het grensvlak gehalveerd. Hiermee wordt verhinderd dat het model een te grote verlaging berekend zoals dit het geval zou zijn bij het invoeren van ondoorlatende grens. Tevens wordt verhinderd dat het model een te kleine verlaging berekend zoals dit het geval zou zijn bij het invoeren van een vaste stijghoogtegrens. Hiermee wordt een toestand benaderd alsof de laag zich continue uitbreid buiten de grenzen van het modelgebied.

## Bestand sokkel7.2

In het bestand sokkel7.2 worden de stijghoogten van de vaste stijghoogte grenscellen opgegeven evenals de stijghoogten van de cellen binnen het modelgebied waar de stijghoogte constant gehouden wordt. Op de eerste lijn van bestand staat een sleutelwoord met indeling A3. Op de volgende ((67x9)x7) of 4221 lijnen staan de hydraulische stijghoogten met de indeling 10F8.2. Voor ieder van de zeven lagen worden er 67x9 lijnen beschreven. De stijghoogten van de eerste 10 kolommen staan neergeschreven in de eerste 67 lijnen (aantal rijen model=67). De stijghoogten van de volgende 10 kolommen in de volgende 67 lijnen, enz.

Na deze hydraulische stijghoogte volgt een code voor iedere eindige-verschil cel van het modelgebied. Deze code is er neergeschreven met de indeling 80I1 in ((67x2)x7) of 938 lijnen. Voor ieder van de zeven lagen worden (67x2) lijnen beschreven. De codes van de eerste 80 kolommen staat neergeschreven op de eerste 67 lijnen. De code van de 81<sup>ste</sup> tot de 83<sup>ste</sup> kolom op de volgende 67 lijnen. Code 0 betekent dat de eindige-verschil cel niet tot het modelgebied behoort, code 1 dat de eindige-verschil cel tot het modelgebied behoort en dat de stijghoogte er berekend wordt. Code 3 dat de eindige-verschil cel beschouwd wordt als een interne vaste stijghoogte. De stijghoogte wordt er niet berekend. Ze wordt er vastgehouden en wordt aangewend voor de berekening van de verticale stroming met de er onderliggende vaste stijghoogte.

In het bestand sokkel7.2 zijn de opgegeven stijghoogten voor iedere laag gelijk. Bij Laag 1 zullen echter een gering aantal ingeven stijghoogten bij de berekening betrokken worden. Het zijn enkel de stijghoogten die gesitueerd zijn in de grenscellen die bij de berekening betrokken worden. Ook voor Laag 2 en Laag 3 zullen weinig stijghoogten die neergeschreven staan in het bestand aangewend worden in de berekening. Bij de Laag 4, Laag 5, Laag 6 en Laag 7 worden echter meer opgegeven stijghoogten betrokken bij de berekening. Het zijn de stijghoogten van de grenscellen met een constante stijghoogte (code 1, bij het opgeven van de grensvoorwaarden in de laatste 28 lijnen van het bestand sokkel7.1) en de stijghoogte van de interne vaste stijghoogte cellen (code 3, in de laatste 938 lijnen in bestand sokkel7.2). De neergeschreven stijghoogten van iedere laag

werden afgeleid van de hoogtelijnen van de topografische kaart van het NGI (schaal 1/100,000). Voor iedere eindige-verschil cel wordt een gemiddelde hoogte van het maaiveld ingeschat. Deze werd verminderd met de gemiddelde diepte van de watertafel in Vlaanderen (nl. 1.5 m).

#### Bestand sokkel7.33

In het bestand sokkel7.33 worden de schijnbare horizontale doorlatendheden van iedere eindige-verschil cel opgegeven. Vermenigvuldigd met deze waarden met overeenkomstige opgegeven dikte van iedere laag dan bekomt men het doorlaatvermogen die aangewend werd in het model om de uitwisseling van water tussen de cellen van één bepaalde laag te berekenen. De wijze waarop deze waarden afgeleid werden is beschreven in Deel 4.

Het bestand sokkel7.33 bestaat uit 4222 lijnen. Op de eerste lijn staat een sleutelwoord met de indeling A3. In de daaropvolgende 67x9 of 603 lijnen staan de afgeleide waarden van de schijnbare doorlatendheden van Laag 1 of van de sokkel. Deze waarden zijn er neergeschreven in de indeling 10F8.2. Op de 2<sup>de</sup> tot de 68<sup>ste</sup> lijn staat de waarden van de eerste tien kolommen. Bij de volgende reeks van 67 lijnen de waarden van de 11<sup>de</sup> tot en met de 20<sup>ste</sup> kolom, enz. Van lijn 605 tot en met 1207 zijn de horizontale doorlatendheden van Laag 2 neergeschreven, enz.

#### Bestand sokkel7.4

In het bestand sokkel7.4 worden de hydraulische weerstand van iedere eindige-verschil cel opgegeven. Deze waarden bepalen de uitwisseling van water tussen de boven elkaar liggende cellen. De wijze waarop deze waarden afgeleid werden is beschreven in Deel 4.

Het bestand sokkel7.4 bestaat uit 4423 lijnen. Op de eerste lijn staat een sleutelwoord met de indeling A10. Indien de eerste 6 letters van het sleutelwoord gelijk is 8F10.0 dan zullen de hydraulische weerstanden gelezen worden met de indeling 8F10.0. Indien dit niet geval is dan zullen de hydraulische weerstanden gelezen worden met de indeling 10F8.0. De eerste zes letters van het sleutelwoord van het bestand is hier 8F10.0.

Van lijn 2 tot 738 worden de hydraulische weerstanden opgegeven van de Horizon A. Op de 2<sup>de</sup> tot en met de 68<sup>ste</sup> lijn staat de waarden van de eerste acht kolommen. Bij de volgende reeks van 67 lijnen de waarden van de 9<sup>de</sup> tot en met de 16<sup>de</sup> kolom, enz. De afgeleide waarden van de hydraulische weerstand van Horizon B staan neergeschreven in het bestand sokkel7.4 vanaf lijn 739 tot en met lijn 1475. Op een analoge wijze kan men het lijninterval afleiden waarop de hydraulische weerstanden neergeschreven staan voor de horizonten C, D, E en F.

#### Bestand sokkel7.6

In het bestand sokkel7.6 worden de opgepompte debieten opgegeven per cel. Op de eerste lijn kan een sleutelwoord aangebracht worden. Op de daaropvolgende lijnen worden de kolom, de rij en de laag opgegeven van de aangepompte eindig-verschil cellen tezamen met hun aangepompte debieten. Dit gebeurt met de indeling 3I3,F8.2. Een



bepaalde eindige-verschil cel kan meerdere keren opgenomen worden in het bestand. In het geval dat de eindige-verschil cel meerdere keren opgenomen wordt in het bestand dan worden de vermelde gebieden geaccumuleerd.

#### Bestand sokkel7.0

In dit bestand worden de parameters neergeschreven die de invoer, de initialisatie, de iteratie en de uitvoer van het hoofdprogramma controleren. Op de eerste lijn staan de parameters neergeschreven die de invoer controleren. Het zijn de parameters INEER, IPOMP, IRIV, IREF, ITYD, ICNEW en ISOL. Ze zijn respectievelijk gelijk aan 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0. Ze zijn neergeschreven in de indeling (7(I2,1x)). Daar INEER gelijk is aan 0, word geen bestand sokkel7.5 gelezen en wordt dus geen infiltratie beschouwd. IPOMP is gelijk aan 1. Hierdoor wordt het bestand sokkel7.6 gelezen en worden de opgepompte debieten in rekening gebracht. IRIV is gelijk aan 0. Er wordt geen wisselwerking tussen rivieren en het grondwaterreservoir beschouwd. IREF is gelijk aan 0. Er worden geen peilen van de basis van de bovenste slecht doorlatende laag opgevraagd daar de niet-lineair stroming in de freatisch watervoerende laag verwaarloosd wordt. ITYD is gelijk aan 0. Hierdoor worden permanente stromingen berekend. ICNEW en ISOL zijn beide gelijk aan 0. Hierdoor wordt er geen grenzen beschouwd met een variërende stijghoogte in de tijd en geen stroming door de onverzadigd zone beschouwd. De vereiste bestanden hoeven dan ook niet voor handen te zijn.

Op de tweede lijn wordt de parameter IINIT neergeschreven met indeling I2. Deze parameter bepaald de wijze waarop de initiële stijghoogten gelezen worden. Bij de permanente stromingen zijn dit de stijghoogten waarmee de berekeningen gestart worden. Het resultaat van de gesimuleerde permanente stroming is onafhankelijk van deze waarden. Deze waarden zullen enkel het verloop van het iteratief proces bepalen. De parameter IINIT is gelijk aan 1 waardoor de aanvangstijghoogten per laag gelezen worden op de volgende lijnen. De initiële stijghoogte van iedere eindige-verschil cel van een laag is dan gelijk aan de opgegeven stijghoogte. Van de 3<sup>de</sup> tot en met de 9<sup>de</sup> lijn wordt deze stijghoogten neergeschreven met de indeling F5.2.

Op de tiende lijn staan de parameters die het iteratief proces sturen. NMIN, NMAX en EPSMAX worden er neergeschreven met de indeling I2,1x,I3,F7.5. Ze zijn hier respectievelijk gelijk aan 50, 500 en 0.0001. Dit betekent dat er minimum 50 iteraties uitgevoerd zullen worden, maximum 500. Indien echter de grootste verandering van een stijghoogte bij een opeenvolgende iteratie kleiner is dan 0.0001 m dan wordt de iteratie gestopt.

Op de laatste lijn van het bestand sokkel7.0 worden tenslotte de parameters neergeschreven die het uitvoerproces sturen. Het zijn de parameters IOBALL, ISTIJG, IBALCL, IOHOR, IOVER, IOVST, IORIV die neergeschreven staan met de opdeling 7(I2,1x). Daar enkel de eerste twee parameters gelijk zijn aan nul en de overige parameters gelijk aan nul zullen alleen de globale waterbalans en de berekende stijghoogten neergeschreven worden in het bestand sokkel7.lst

#### 6.2.2 Bestanden voor het simuleren van de permanente natuurlijke grondwaterstroming

Voor de simulatie van de permanente natuurlijke grondwaterstromingen onder Vlaanderen zijn er vijf invoerbestanden nodig: nl. sokkel6.1, sokkel6.2, sokkel6.33,

sokkel6.4 en sokkel6.0. De invoerbestanden sokkel6.2, sokkel6.33 en sokkel6.4 zijn respectievelijk identiek aan de invoerbestanden sokkel7.2, sokkel7.33 en sokkel7.4. De invoerbestanden sokkel6.1 en sokkel6.0 verschillen slechts in een geringe mate met de bestanden sokkel7.1 en sokkel7.0. In de volgende twee paragrafen wordt enkel de aanpassingen besproken die doorgevoerd werd op de laatstgenoemde bestanden om tot de eerstgenoemde bestanden te komen.

#### Bestand sokkel6.1

Het bestand sokkel6.1 verschilt slechts op de plaatsen die de grensvoorwaarden aangeven van de onderste twee lagen, Laag 1 en Laag 2 van het numeriek model. De noordelijke, zuidelijke, westelijke en oostelijke grenzen van deze lagen worden nu als ondoorlatend beschouwd. In plaats van de codes 2 en 1 op de lijnen 154 tot en met 161 in bestand sokkel7.1 worden alle deze codes hier vervangen door de code 0 die dus staat voor ondoorlatende grenzen. Bij beide onderste lagen komen nu slechts een zeer beperkt aantal interne vaste stijghoogte punten voor. Dit is op de weinige plaatsen dat de klei van de Formatie van Kortrijk ontbreekt.

#### Bestand sokkel6.0

Het bestand sokkel6.0 is identiek met het bestand sokkel7.0 op één parameter na. IPOM is gelijk aan 0 i.p.v 1. Hierdoor wordt geen opgepompte debieten in rekening gebracht. Bijgevolg wordt geen bestand sokkel6.6 opgevraagd.

### 6.3 Uitvoeringsbestanden

Vier uitvoeringsbestanden zijn nodig om de simulaties uit te voeren. Het bestand KD1KD2SO.EXE berekent de doorlaatvermogens op alle grensvlakken van de eindig-verschil cellen. Het bestand RMOSOI.EXE simuleert de grondwaterstroming in een veellagig grondwaterreservoir waarbij alle lagen zich gedragen als een lateraal isotroop midden. Bij het algoritme opgenomen in het bestand RMOSOA.EXE kan de onderste laag van het grondwaterreservoir zich gedragen als een lateraal anisotroop medium, de bovenliggende lagen blijven zich gedragen als lateraal isotroop. Met het bestand ISO-SOK.EXE kunnen HPGL-bestanden aangemaakt worden die toelaten kaarten te printen van berekende stijghoogten. Tevens kunnen kaarten gemaakt worden van onderlinge verschillen tussen de stijghoogten.

#### 6.3.1 Uitvoeringsbestand KD1KD2SO.EXE

Het bestand KD1KD2SO.EXE berekend het doorlaatvermogen op alle grensvlakken van alle eindig-verschil cellen die in het numeriek model beschouwd worden. De nodige invoerbestanden zijn hier sokkel7.1 en sokkel7.33. De nodige gegevens op sokkel7.1 zijn de dimensies van het eindige verschil netwerk (aantal kolommen, rijen en lagen) alsook hun afmetingen (breedten van kolommen en rijen, dikten van lagen). De grensvoorwaarden neergeschreven op de laatste lijnen van het bestand sokkel7.1 zijn eveneens vereist om het gepaste doorlaatvermogen te berekenen op de grensvlakken. In het bestand sokkel7.33 zijn de blok-gecentreerde schijnbare horizontale doorlatendheden

opgegeven van alle eindige-verschil cellen. Uit deze matrix worden twee matrices KD1 en KD2 berekend die dan neergeschreven staan in binaire mode op het bestand sokkel7.3.

Telkens als men één van de bestanden sokkel7.1 of sokkel7.33 veranderd moet men het uitvoeringsbestand KD1KD2SO.EXE laten lopen om een nieuwe waarden van de matrices KD1 en KD2 te berekenen en op te slaan in het bestand sokkel7.3 die dan bij de eigenlijke simulaties gebruikt. Verandert men enkel de waarden in de bestanden sokkel7.1 en/of sokkel7.33 maar vergeet men het uitvoeringsbestand KD1KD2SO.EXE te laten lopen dan voert men berekeningen uit met vroeger ingestelde randvoorwaarden en/of doorlatendheden die niet overeenkomen met de gewijzigde gegevens in de bestanden sokkel7.1 en sokkel7.33.

### 6.3.2 Uitvoeringsbestand RMOSOI.EXE

Met het bestand RMOSOI.EXE kan de grondwaterstroming in een veellagig grondwaterreservoir gesimuleerd worden. Hierbij gedragen alle lagen zich als een lateraal isotroop midden. Voor de simulatie van de permanente grondwaterstroming in de sokkel bij pumping zijn de bestanden sokkel7.1, sokkel7.2, sokkel7.3, sokkel7.4, sokkel7.6 en sokkel7.0 vereist. Na het lezen van de matrix van de hydraulische weerstanden op het bestand sokkel7.4 kan men de hydraulische weerstanden van één of meerdere horizonten met een factor vermenigvuldigen. Hiervoor moeten drie vragen interactief beantwoord worden. Eerst moeten een aantal horizonten opgegeven worden, vervolgens de overeenkomstige nummers van de horizonten, tenslotte de factor zelf. Voor het lezen van de opgepompte debieten op het bestand sokkel7.6 moet men opgeven met welke factor deze moeten vermenigvuldigd worden. Wil men de debieten zoals gegeven op het bestand dan stelt men deze factor gelijk aan één. De resultaten van de berekeningen worden neergeschreven op het bestand sokkel7.res.

Voor de simulatie van de natuurlijke grondwaterstromingen zijn slechts vier bestanden nodig: sokkel6.1, sokkel6.2, sokkel6.3, sokkel6.4 en sokkel6.0. Ook hier bestaat de mogelijkheid de hydraulische weerstand van één of meerdere horizonten met een factor te vermenigvuldigen. Het resultaat van de berekeningen worden neergeschreven op het bestand sokkel6.res. Met behulp van de bestanden sokkel7.res en sokkel6.res kunnen HPGL-bestanden aangemaakt worden voor het printen van figuren van de resultaten

### 6.3.3 Uitvoeringsbestand RMOSOA.EXE

Met het bestand RMOSOA.EXE kan men eveneens de grondwaterstroming simuleren in een veellagig grondwaterreservoir. De onderste laag van het model kan zich evenwel als een lateraal anisotroop midden gedragen. Hiervoor moet men de hoek van maximale doorlatendheid en de laterale anisotropie interactief ingeven. De hoek moet gemeten worden in graden startende van de noordrichting en draaiend naar het oosten. Verder is de wijze van invoeren van gegevens en eventuele aanpassing gelijk als bij RMOSOI.EXE. Ook de resultaten worden op dezelfde bestanden neergeschreven.

### 6.3.3 Uitvoeringsbestand ISOSOK.EXE

Met het bestand ISOSOK.EXE kunnen HPGL-bestanden aangemaakt worden die

toelaten kaarten te printen van berekende stijghoogten. Tevens kunnen kaarten gemaakt worden van onderlinge verschillen tussen de stijghoogten. Om enkel kaarten te tekenen van de berekende stijghoogte van de permanente grondwaterstroming bij pumping zijn de bestanden sokkel7.1, sokkel7.2 en sokkel7.res vereist. Indien echter ook de vectoren van de horizontale stroming moeten uitgezet worden moet men ook kunnen beschikken over de file sokkel7.3. Voor het uitzetten van de verticale stroming tussen de lagen van het numeriek model is eveneens de file sokkel7.4 vereist. Wil men het stijghoogteverschillen berekenen tussen twee verschillende lagen dan moet het bestand sokkel.res kopiëren in een bestand sokkel.rsu. Het is echter ook mogelijk de berekende stijghoogten te vergelijken met vroeger berekende resultaten, zoals bijvoorbeeld bij het uitvoeren van gevoeligheidsanalyse. In dit geval is het nodig dat de resultaten van de vroegere berekening gestockeerd worden in het bestand sokkel7.rsu alvorens de nieuwe berekeningen te starten met de programma RMOSOL.EXE of RMOSOA.EXE. De nieuwe resultaten worden dan neergeschreven in het bestand sokkel7.res.

## **7. Overzicht van resterende hiaten in de kennis en voorstellen van toekomstig hydrogeologisch onderzoek**

### **7.1 Hydraulische kenmerken van de twee diepere watervoerende lagen**

#### **7.1.1 Watervoerende laag in top van sokkel**

Van de twee diepere watervoerende lagen in de top van de sokkel en de zanden van de Landen Groep zijn tot nu toe reeds een respectabel aantal parameters bepaald die de horizontale stroming beschrijven. Hierbij bleek dat de sokkel zich als een lateraal anisotroop medium gedraagt. In de toekomst zou het nuttig zijn nog verdere gegevens te verzamelen over de hydraulische doorlatendheid van deze laag.

Voor de watervoerende laag in de top van de sokkel ontbreken nu nog gegevens voor het noordelijke gedeelte van Vlaanderen, Frans-Vlaanderen, de streek rond de as Ieper-Veurne en de streek rond de as Oudenaarde-Brakel-Ninove. In deze gebieden zou in eerste instantie moeten gezocht worden naar een groep putten die onderling niet ver van elkaar gelegen zijn (enkele honderden meters, maximaal 1 km). Deze groep zou minstens moeten bestaan uit drie putten waarin overal de stijghoogte kan gevolgd worden. Trekken we lijnen tussen de drie putten dan zou men een driehoek moeten bekomen waarvan de stompste hoek niet groter is dan  $135^\circ$  graden. Tevens zou op minstens twee van de drie putten het debiet moeten kunnen gevarieerd worden. Op de andere putten zou ofwel niet gepompt mogen worden, ofwel over een lange periode met een constant debiet gepompt. Kan men niet beschikken over een dergelijke groep van putten die aan de gestelde voorwaarden voldoet dan is het onmogelijk om alle hydraulische parameters te bepalen die de horizontale stroming bepalen in de sokkel die zich gedraagt als een lateraal anisotroop medium.

Indien men slechts kan beschikken over één pompput waarin men tegelijkertijd het opgepompte debiet kan laten variëren en de stijghoogteverandering kan waarnemen dan kan men steeds een pompproef uitvoeren waarbij men het debiet laat toenemen in verschillende stappen (een *step*-verlagingsproef). Hieruit kan men dan het putverlies afleiden bij de verschillende debieten en een ruwe schatting maken van het effectieve

doorlaatvermogen. Indien men slechts beschikt over twee putten dan is eveneens een stap verlagingsproef nuttig. Naast de twee voornoemde parameters zal dan ook het doorlaatvermogen in één bepaalde richting kunnen afgeleid worden.

### 7.1.2 Watervoerende laag in de zanden van de Landen Groep

De kennis van het doorlaatvermogen van de watervoerende laag in de zanden van Landen is tot nu toe beperkter dan bij de watervoerende laag in de top van de sokkel. Tot nu toe zijn enkel gegevens geconcentreerd in een beperkt gebied in de Westhoek (Poperinge-Langemark-Oostduinkerke) en van Ronse. Aanvullende gegevens zouden nog moeten verzameld worden in het grootste gedeelte van het studiegebied waar nog geen gegevens voorhanden zijn.

De nauwkeurigste informatie bekomt men door het uitvoeren van een pompproef. Hiervoor zou men minimaal moeten kunnen beschikken over twee putten met filter in de watervoerende laag. Minimum één van de putten zou moeten kunnen aangepompt worden. Tijdens de pompproef moet de verlaging gevolgd worden in zowel de pompput als de waarnemingsput. Met deze minimum opstelling van een pompproef zal men met een voldoende nauwkeurigheid het doorlaatvermogen en de elastische bergingscoëfficiënt van de watervoerende laag afleiden.

Indien echter verlagingen kunnen waargenomen worden op verschillende waarnemingsputten die op verschillende afstanden van de pompput gelegen zijn dan zullen de afgeleide waarden van het doorlaatvermogen nauwkeuriger bepaald worden en zal men tevens een waarde afleiden voor de resulterende hydraulische weerstand. Deze hydraulische weerstand benadert de hydraulische weerstand van de aangrenzende slecht doorlatende laag met de geringste hydraulische weerstand. Dit zou hier de hydraulische weerstand zijn van de slecht doorlatende laag gevormd door de kleiafzettingen van de Landen Groep en de ongespleten krijtafzettingen.

Indien men slechts kan beschikken over één pompput met dompelpomp dan kan men een stap-verlagingsproef (zie deel 7.1.1) uitvoeren. Uit deze waarnemingen kan men een ruwe schatting maken van het doorlaatvermogen van de aangepompte laag en kan men het putverlies afleiden bij de verschillende debieten. Dergelijke proeven zouden ook kunnen gerealiseerd worden op de putten van het waarnemingsnet van AMINAL. Door het uitvoeren van enkele van deze proeven zou men kunnen afleiden of dergelijke stap-verlagingsproeven voldoende nauwkeurige waarden opleveren van het doorlaatvermogen van deze watervoerende laag.

### 7.2 Hydraulische kenmerken van de slecht doorlatende lagen

Uit de gevoeligheidsanalysen (zie deel 5.3) bleek dan de hydraulische weerstand van de afzettingen van de Formatie van Kortrijk een belangrijke invloed heeft op de diepte en vorm van de depressietrechter in de twee diepe watervoerende lagen. Alhoewel de invloed iets kleiner is dan de invloed van de opgepompte debieten ligt ze echter in dezelfde orde van grootte. Uit de gevoeligheidsanalysen bleek ook dat de hydraulische weerstand van de slecht doorlatende laag gevormd door de kleiafzettingen van de Landen Groep en de ongespleten krijtafzettingen minder belangrijk zijn. Verder kan men de vraag stellen of de watervoerende laag in de top van de sokkel niet alleen een uitwisseling van grondwater is met de bedekkende lagen maar eveneens met de onderliggende minder

gespleten gedeelte van de sokkel.

### 7.2.1 Hydraulische doorlatendheid van de afzettingen van de Formatie van Kortrijk

Tot nu toe zijn het minste gegevens voorhanden over deze hydraulische parameter. Door een combinatie van het verticale stijghoogte verhang binnen de Ieper Groep en de uitvoering van een drievoudige pompproef geeft men te Elst een idee verkregen over de hydraulische weerstand van de verschillende leden van de Formatie van Kortrijk. Dit is in een gebied waar het Lid van Moen zeer zandig is. Momenteel beschikken we enkel over kwalitatieve omschrijvingen over de laterale variatie van de afzettingen in de Formatie van Kortrijk (Depuis, Deconinck en Steurbaut, 1991). Hieruit werd een voorlopig model afgeleid over de laterale wijziging van de verticale doorlatendheid van deze afzettingen (zie Hoofdstuk 4).

Toekomstig onderzoek over de lithostratigrafische kenmerken (variatie dikte van lagen binnen de verschillende leden, hun korrelgrootte verdeling, hun mineralogische samenstelling, ...), de laterale variatie van geofysische boorgatparameters en de hydraulische parameters (vooral verticale en horizontale doorlatendheden) zouden moeten uitwijzen of het voorlopig model verder kan aanvaard worden. Tenslotte vermelden we hier dat de hydraulische weerstanden van de Formatie van Kortrijk berekend werd met behulp van dikten van deze laag. Deze dikten werden hier afgelezen van een bestand dat opgesteld werd voordat de nieuwe inzichten over de Formatie van Kortrijk beschikbaar waren (Depuis, Deconinck en Steurbaut, 1991). Deze oude bestanden zouden zeker in het licht van de nieuw verworven kennis moeten worden aangepast.

De hydraulische parameters van de afzettingen van de Formatie van Kortrijk zouden op verschillende wijzen kunnen afgeleid worden. De meest complete wijze om deze hydraulische parameters af te leiden is door een gezamenlijke interpretatie van verticale stijghoogteverhangen met één of meerdere pompproeven in de lagen met het lichtste faciës. Naarmate de afzettingen echter zwaarder worden, naar het NNW toe, wordt de uitvoering van een goede pompproef moeilijker. Indien men echter de gegevens van het stijghoogteverhang binnen deze afzetting kan combineren met een pompproef in de watervoerende laag gevormd in de zanden van de Landen Groep waarbij eveneens verlagingen waargenomen worden in de onderste afzettingen van de Formatie van Kortrijk dan zal men eveneens de hydraulische weerstanden van de verschillende leden van de Formatie van Kortrijk kunnen afleiden. Indien men echter enkel beschikt over duidelijke verticale stijghoogteverhang binnen deze afzetting dan zal enkel de relatieve verhouding van de verschillende hydraulische weerstanden van de verschillende leden van de Formatie van Kortrijk kunnen afleiden. Dit zou ons inlichtingen verschaffen over de heterogeniteit van de afzettingen binnen de Formatie van Kortrijk. Dit is een waardevol gegeven voor het opstellen van het model van de laterale verandering van de hydraulische doorlatendheid van de afzettingen binnen de Formatie van Kortrijk.

### 7.2.2 Hydraulische kenmerken van lagen grenzend aan watervoerende laag in sokkeltop

Tot nu toe werd enkel de resulterende hydraulische weerstand van de aangrenzende lagen van de sokkel bepaald. De reciproque waarde van deze weerstand is gelijk aan de som van de reciproque waarden van de hydraulische weerstand van de onderliggende en bedekkende laag. Deze resulterende hydraulische weerstand kon slechts met een



beperkte nauwkeurigheid afgeleid worden uit de verlagingen waargenomen in de sokkel tijdens een pomping op de sokkel. De afgeleide waarden van de hydraulische weerstand vertonen er relatief grote schommelingen (zie tabel 2). Het is tot nu toe niet mogelijk om de hydraulische weerstand van de onderliggende en bovenliggende laag van elkaar te onderscheiden.

Indien in de toekomst echter pompproeven uitgevoerd zouden worden waarbij tijdens de pompproef niet alleen de verlagingen waargenomen worden in de rechtstreeks aangepompte gedeelte van de sokkel maar ook in het aangrenzende lagen, zou de hydraulische weerstand van de onder- en bovenliggende lagen afzonderlijk bepaald kunnen worden. Met deze parameters zou de lek uit deze lagen afzonderlijk kunnen bepaald worden. Een beter inzicht in deze verticale stromingen zou men reeds kunnen bekomen, indien men bijvoorbeeld zou pompen op de top van de sokkel terwijl de verlagingen zouden gevolgd worden in de zanden van de Groep van Landen. Deze waarnemingen zouden wel moeten geschieden op plaatsen waar de dikte van de slecht doorlatende lagen tussen de twee watervoerende lagen beperkt is.

Om dergelijke pompproeven te kunnen uitvoeren zouden in een beperkt gebied een voldoende aantal putten in de sokkel voorhanden moeten zijn en zou men tevens moeten kunnen beschikken over minstens één put in de zanden van de Landen Groep. Bij een dergelijke pompproef zou de hydraulische weerstand van de slecht doorlatende laag tussen de sokkel en de zanden van de Landen Groep goed kunnen bepaald worden. Met deze waarde en de waarde van de resulterende hydraulische weerstand zou men dan reeds de grootte orde van de hydraulische weerstand van de onderliggende gesteenten kunnen inschatten. Deze eerste voorgestelde pompproefuitvoering zou op sommige plaatsen in Vlaanderen gerealiseerd kunnen worden zonder het plaatsen van bijkomende boorputten. Daar de te verwachten verlagingen in de zanden van de Landen Groep veel kleiner zijn dan in de sokkel zelf en daar deze zouden optreden na een veel langere periode na het starten van de pompproef, zou de uitvoering van een dergelijke pompproef nog beter gepland moeten worden dan de uitvoering van de pompproeven in de sokkel.

Het hierboven beschreven voorstel van een pompproef is een minimaal project die men dient uit te voeren, indien men meer kennis wil verwerven over de verticale stromingen in de aangrenzende lagen van de watervoerende laag gevormd door de top van de sokkel. Het spreekt vanzelf dat nog betere kennis kan bekomen worden over de verticale stroming en bergingsveranderingen in de aangrenzende lagen indien men zou kunnen beschikken over verlagingen waargenomen in deze lagen zelf. Hiervoor zou het echter wel noodzakelijk zijn bijkomende boringen uit te voeren om verlagingen waar te nemen in de bedekkende slecht doorlatende lagen of zelfs in de onderliggende minder doorlatende gesteenten van de sokkel.

### 7.3 IJking door middel van een invers model

Vooraleer over te gaan tot de ijking van het numeriek model zouden een reeks van bijkomende waarnemingen verzameld moeten worden. Tot nu toe zijn de waargenomen stijghoogten voornamelijk geconcentreerd in de depressietrechter. Daarom zouden een reeks van stijghoogtewaarnemingen kunnen uitgevoerd worden onder de belangrijkste voedingsgebieden die voldoende ver van de grenzen van het modelgebied gelegen zijn. De stijghoogtegegevens van de diepere watervoerende lagen zouden verder moeten aangevuld worden met waarnemingen in gebieden met relatief geringe pompings maar waar wel

een relatief grote horizontale verhang kan verwacht worden. Zo zouden stijghoogten waargenomen in de watervoerende laag gevormd in de zanden van de Landen Groep en op de lijnen Kanegem-Sleidinge-Kluizen en Middelkerke-Koekelare-Edewalle van groot nut zijn.

Naast een reeks van bijkomende stijghoogtewaarnemingen zouden ook een reeks van problemen moeten opgelost worden indien men over zou willen gaan tot de toepassing van een invers model. Een probleem, die zeker zou moeten bestudeerd worden is hoe stijghoogten waargenomen in pompputten of peilputten die al of niet omringend zijn door een reeks winningsputten in werking tezamen kunnen aangewend worden bij de ijking van een numeriek model met relatief grote eindige-verschil cellen (zie deel 5.3). Dit probleem zou kunnen bestudeerd worden door de verlagingen berekend met het numeriek model met grote eindige-verschil cellen te vergelijken met verlagingen berekend met schaalonafhankelijke rekenmethodes.

Een ander opschalingsprobleem dat zou moeten bestudeerd worden, treedt op in de infiltratiegebieden. In de gebieden waar de laterale uitbreiding van heropvullings- en afvloeigebieden sterk wisselt en veel kleiner is dan de grootte van de eindige-verschil cellen is het moeilijk om de constante waarde van de stijghoogte van de freatische watervoerende laag af te leiden. Deze waarde die in het model moet worden ingevoerd, bepaald onrechtstreeks de verticale stroming doorheen de bovenste slecht doorlatende laag. Een mogelijke oplossing zou de drastische vermindering zijn van de afmetingen van de eindige-verschil cel in deze gebieden van het numeriek model. Een andere mogelijkheid zou erin bestaan deze lek in te schatten door uitsluitend deze gebieden te modelleren met een apart numeriek model waarvan de eindige-verschil cellen voldoende klein zijn. De aldus gesimuleerde lek zou dan rechtstreeks in het model met de grotere eindige verschil cellen worden ingevoerd.

## Referenties

De Coninck, J. (1991). Ypresian organic-walled phytoplankton in the Belgian Basin and adjacent areas. *Bulletin Belg. Vereniging voor Geologie. Vol. 97, Delen 3/4*, p. 287-319.

De Ceuckelaire, M., Walraevens, K. en Van Burm, Ph. (1992). Evolutie van de stijghoogten in het landenaan en de sokkel vanaf de eeuwwisseling tot 1986. (West-Vlaanderen en aangrenzend deel Oost-Vlaanderen). *Belg. Geol. Dienst, Prof. Pap.*, n°257, 9p.

De Geyter, G. (1988). Landen Groep, Hfst. 4, p.59-80 in Marechal, R. en P. Laga, eds., (1988). *Voorstel van een lithostratigrafische onderverdeling van het Paleogeen*. Nationale commissie: Tertiair, Brussel, Belgische Geologisch Dienst, 208 p.

De Roubaix, E., De Rycke, F., Gulinck, M., Legrand, R. en Loy, W. (1979). Tournaisis '77' - '78'. Effondrements à Kain et évolution récente de la nappe aquifère profonde. *Prof. Paper Service Géol. belge*, 157, 47 p.

Geets, S. (1991). The evolution of the grain-size distribution in the sediments of the Ieper Formation in Belgium. *Bulletin Belg. Vereniging voor Geologie. Vol. 97, Delen 3/4*, p. 451-456.

King, C. (1991). Stratigraphy of the Ieper Formation and Argile de Flandres (Early Eocene) in Western Belgium and Northern France. *Bulletin Belg. Vereniging voor Geologie*. Vol. 97, Delen 3/4, p. 349-372.

Lebbe, L. (1988). *Uitvoeren van pompproeven en interpretatie door middel van een invers model*. Gent, Geologisch Instituut, Universiteit Gent, Thesis Geaggregeerde Hoger Onderwijs, 563 p.

Lebbe, L. en De Breuck, W. (1997). Analysis of a pumping test in an anisotropic aquifer by use of an inverse numerical model. *Hydrogeology Journal*, v. 5, no. 3, 44-59.

Lebbe, L., Mahauden, M. en De Breuck, W. (1989). Resultaten van de pomp- en de stijgproef bij het Klooster van de zusters Benedictinessen te Poperinge. 39 p. TGO 89/70. Rijksuniversiteit Gent, Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie.

Lebbe, L., Mahauden, M. en De Breuck, W. (1991). Interpretation of pumping tests in the anisotropic Brabant Massif by means of a numerical inverse model. In: L. André, A. Herbosh, M. Vangeustaine & J. Verniers (eds.), Proceedings of the International Meeting on the Caledonides of the Midlands and the Brabant Massif, Brussels, *Ann. Soc. Géol. Belg.* 114 (1), p. 277-282.

Lebbe, L., Mahauden, M. en De Breuck, W. (1993). Execution of a triple pumping test and interpretation by an inverse numerical model. *Applied Hydrogeology*, v. 1, no. 4, p. 20-40.

Lebbe, L., Van Camp, M., De Ceuckelaire, M., Van Burm Ph. en De Breuck, W. (1987). *Hydrogeologisch mathematisch model van de grondwaterstromingen in de gedeeltelijk afgesloten watervoerende lagen onder West-, Oost-, Zeeuws- en Frans-Vlaanderen*. Universiteit Gent, TGO 86/53, 105 p.

Marechal, R. en Laga, P., eds., (1988). *Voorstel van een lithostratigrafische onderverdeling van het Paleogeen*. Nationale commissie: Tertiair, Brussel, Belgische Geologisch Dienst, 208 p.

Steurbaat, E. (1991). Ypresian calcareous nannoplankton biostratigraphy and palaeogeography of the Belgian Basin. *Bulletin Belg. Vereniging voor Geologie*. Vol. 97, Delen 3/4, p. 251-285.

Van Dyck, E., Lebbe, L., Walraevens, K. en De Breuck, W. (1984). *Hydrogeologische studie van de Ledo-Paniseliaanlaag onder het Drongengoed te Ursel (Knesselare)*. Leerstoel voor Toegepaste Geologie, TGO 81/09, 147 p. + twee bijlagen.

Walraevens, K., Lebbe, L., Van Houtte, E. en De Breuck, W. (1991). *Milieu-effektrapport kleigroeve en stortplaats klasse I, Sint-Gillis-Waas, Deelstudie Water en Bodem*. 67 p. TGO 88/51. Rijksuniversiteit Gent : Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie.

- Fig. 1      Eindig-verschil netwerk van het numeriek model en hydrogeologische zonatie.
- Fig. 2      Waargenomen stijghoogten van de Sokkel tijdens de maand mei 1986
- Fig. 3      Waargenomen stijghoogten van de watervoerende laag gevormd in de zanden van de Groep van Landen tijdens de maand mei 1986.
- Fig. 4      Verticale Darciaanse stroomsnelheid doorheen de klei van de Formatie van Kortrijk in een onaangepompte toestand berekend met de eerste versie van het numeriek model.
- Fig. 5      Verticale Darciaanse stroomsnelheid doorheen de klei van de Formatie van Kortrijk bij de aangepompte toestand van 1986 berekend met de eerste versie van het numeriek model.
- Fig. 6      Lithostratigrafische doorsnede, ligging van de filters van de peilput en de pompputten van de drievoudige pompproef te Elst en discretisatie van het grondwaterreservoir in het invers axi-symmetrische twee-dimensionale model voor de gezamenlijk interpretatie van de pompproef.
- Fig. 7      Doorlaatvermogen van de sokkel in de verschillende simulatiereeksen bij de eerste versie van het numeriek model.
- Fig. 8      Contourlijnen van de ingevoerde schijnbare horizontale doorlatendheid van Laag 1 bij het geactualiseerde model. Vermenigvuldigt men deze waarde met de ingevoerde dikte van de Laag 1, nl. 10 m, dan verkrijgt men het ingevoerde doorlaatvermogen van de sokkel.
- Fig. 9      Contourlijnen van de ingevoerde schijnbare horizontale doorlatendheid van Laag 2 bij het geactualiseerde model. Vermenigvuldigt men deze waarde met de ingevoerde dikte van Laag 2, nl. 11 m, dan verkrijgt men het ingevoerde doorlaatvermogen van de watervoerende laag gevormd door de zanden van de Landen Groep.
- Fig. 10      Contourlijnen van de ingevoerde schijnbare horizontale doorlatendheden van Laag 3 bij het geactualiseerde model. Als men deze waarden vermenigvuldigt met de ingevoerde dikte van Laag 3, nl. 45.5 m, dan verkrijgt men het doorlaatvermogen van het Lid van Moen.
- Fig. 11      Contourlijnen van de ingevoerde hydraulische weerstand van Horizon A van de geactualiseerde versie van het model.
- Fig. 12      Contourlijnen van de hydraulische weerstand van Horizon B van de geactualiseerde versie van het model zoals ingevoerd bij het best passende scenario. Hierbij werden alle waarden bekomen met vergelijking (9) vermenigvuldigd met een factor 2.5.

- Fig. 13      Contourlijnen van de hydraulische weerstand van Horizon C van de geactualiseerde versie van het model zoals ingevoerd bij het best passende scenario. Hierbij werden alle waarden bekomen met vergelijking (11) vermenigvuldigd met een factor 2.5.
- Fig. 14      Berekende hydraulische stijghoogten van de sokkel waarbij de hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk berekend volgens vergelijkingen (9) en (11) wordt vermenigvuldigd met een factor 2.5. De sokkel wordt beschouwd als een heterogeen lateraal isotroop medium.
- Fig. 15      Berekende hydraulische stijghoogten van de watervoerende laag in de zanden van de Landen Groep. De hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk berekend volgens vergelijkingen (9) en (11) wordt vermenigvuldigd met een factor 2.5. De sokkel wordt beschouwd als een heterogeen lateraal isotroop medium.
- Fig. 16      Berekende hydraulische stijghoogten van de sokkel waarbij de hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk berekend volgens vergelijkingen (9) en (11) wordt vermenigvuldigd met een factor 2.5. De sokkel wordt beschouwd als een heterogeen lateraal anisotroop medium.
- Fig. 17      Berekende hydraulische stijghoogten van de watervoerende laag in de zanden van de Landen Groep. De hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk berekend volgens vergelijkingen (9) en (11) wordt vermenigvuldigd met een factor 2.5. De sokkel wordt beschouwd als een lateraal anisotroop medium.
- Fig. 18      Berekende hydraulische stijghoogten van de sokkel waarbij de hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk berekend volgens vergelijkingen (9) en (11) wordt vermenigvuldigd met een factor 8.0. De sokkel wordt beschouwd als een heterogeen lateraal isotroop medium.
- Fig. 19      Berekende hydraulische stijghoogten van de watervoerende laag in de zanden van de Landen Groep. De hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk berekend volgens vergelijkingen (9) en (11) wordt vermenigvuldigd met een factor 8.0. De sokkel wordt beschouwd als een heterogeen lateraal isotroop medium.
- Fig. 20      Berekende hydraulische stijghoogten van de sokkel waarbij de hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk berekend volgens vergelijkingen (9) en (11) wordt vermenigvuldigd met een factor 8.0. De sokkel wordt beschouwd als een heterogeen lateraal anisotroop medium.
- Fig. 21      Berekende hydraulische stijghoogten van de watervoerende laag in de zanden van de Landen Groep. De hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk berekend volgens vergelijkingen (9) en (11) wordt vermenigvuldigd met een factor 8.0. De sokkel wordt beschouwd als een lateraal anisotroop medium.

- Fig. 22      Berekende hydraulische stijghoogten van de sokkel waarbij de hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk berekend volgens vergelijkingen (9) en (11) wordt vermenigvuldigd met een factor 25.0. De sokkel wordt beschouwd als een heterogeen lateraal isotroop medium.
- Fig. 23      Berekende hydraulische stijghoogten van de watervoerende laag in de zanden van de Landen Groep. De hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk berekend volgens vergelijkingen (9) en (11) wordt vermenigvuldigd met een factor 25.0. De sokkel wordt beschouwd als een heterogeen lateraal isotroop medium.
- Fig. 24      Berekende hydraulische stijghoogten van de sokkel waarbij de hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk berekend volgens vergelijkingen (9) en (11) wordt vermenigvuldigd met een factor 25.0. De sokkel wordt beschouwd als een heterogeen lateraal anisotroop medium.
- Fig. 25      Berekende hydraulische stijghoogten van de watervoerende laag in de zanden van de Landen Groep. De hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk berekend volgens vergelijkingen (9) en (11) wordt vermenigvuldigd met een factor 25.0. De sokkel wordt beschouwd als een lateraal anisotroop medium.
- Fig. 26      Berekende hydraulische stijghoogten van de sokkel De hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk berekend volgens vergelijkingen (9) en (11) wordt hier vermenigvuldigd met een factor 8.0. De sokkel wordt beschouwd als een heterogeen lateraal isotroop medium. De ingeschatte pompings worden met een factor 2.0 vermenigvuldigd.
- Fig. 27      Berekende hydraulische stijghoogten van de watervoerende laag in de zanden van de Landen Groep. De hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk berekend volgens vergelijkingen (9) en (11) wordt vermenigvuldigd met een factor 8.0. De sokkel wordt beschouwd als een heterogeen lateraal isotroop medium. De ingeschatte pompings worden met een factor 2.0 vermenigvuldigd.
- Fig. 28      Berekende hydraulische stijghoogten van de sokkel waarbij de hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk berekend volgens vergelijkingen (9) en (11) wordt vermenigvuldigd met een factor 8.0. De sokkel wordt beschouwd als een heterogeen lateraal anisotroop medium. De ingeschatte pompings worden met een factor 2.0 vermenigvuldigd.
- Fig. 29      Berekende hydraulische stijghoogten van de watervoerende laag in de zanden van de Landen Groep. De hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk berekend volgens vergelijkingen (9) en (11) wordt vermenigvuldigd met een factor 8.0. De sokkel wordt beschouwd als een lateraal anisotroop medium. De ingeschatte pompings worden met een factor 2.0 vermenigvuldigd.



- Fig. 30      Gevoeligheid van de berekende stijghoogten van Laag 1 voor de aangepompte debieten.
- Fig. 31      Gevoeligheid van de berekende stijghoogten van Laag 2 voor de aangepompte debieten.
- Fig. 32      Gevoeligheid van de berekende stijghoogten van Laag 1 voor de hydraulische weerstand van de Formatie van Kortrijk of de horizonten B en C van het numeriek model.
- Fig. 33      Gevoeligheid van de berekende stijghoogten van Laag 2 voor de hydraulische weerstand van de Formatie van Kortrijk of de horizonten B en C van het numeriek model.
- Fig. 34      Verschil tussen de berekende stijghoogten van Laag 1 bij twee simulaties. Bij de eerste simulatie wordt de sokkel beschouwd als een heterogeen lateraal anisotrope laag; bij de tweede simulatie als een heterogeen lateraal isotrope laag.
- Fig. 35      Verschil tussen de berekende stijghoogten van Laag 2 bij twee simulaties. Bij de eerste simulatie wordt de sokkel beschouwd als een heterogeen lateraal anisotrope laag; bij de tweede simulatie als een heterogeen lateraal isotrope laag.
- Fig. 36      Gevoeligheid van de berekende stijghoogten van Laag 1 voor de hydraulische weerstand van de ongespleten krijtafzettingen en de kleiafzettingen van de Landen Groep.
- Fig. 37      Gevoeligheid van de berekende stijghoogten van Laag 2 voor de hydraulische weerstand van de ongespleten krijtafzettingen en de kleiafzettingen van de Landen Groep.
- Fig. 38      Berekende hydraulische stijghoogten van de sokkel zonder pumping. De hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk berekend volgens vergelijkingen (9) en (11) wordt vermenigvuldigd met een factor 8.0. De sokkel wordt beschouwd als een heterogeen lateraal isotroop medium.
- Fig. 39      Berekende hydraulische stijghoogten van de watervoerende laag in de zanden van de Landen Groep zonder pumping. De hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk berekend volgens vergelijkingen (9) en (11) wordt vermenigvuldigd met een factor 8.0. De sokkel wordt beschouwd als een heterogeen lateraal isotroop medium.
- Fig. 40      Berekende hydraulische stijghoogten van de sokkel zonder pumping waarbij de hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk berekend volgens vergelijkingen (9) en (11) wordt vermenigvuldigd met een factor 8.0. De sokkel wordt beschouwd als een heterogeen lateraal anisotroop medium.

**Fig. 41**

**Berekende hydraulische stijghoogten van de watervoerende laag in de zanden van de Landen Groep zonder pompingen. De hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk berekend volgens vergelijkingen (9) en (11) wordt vermenigvuldigd met een factor 8.0. De sokkel wordt beschouwd als een lateraal anisotroop medium.**

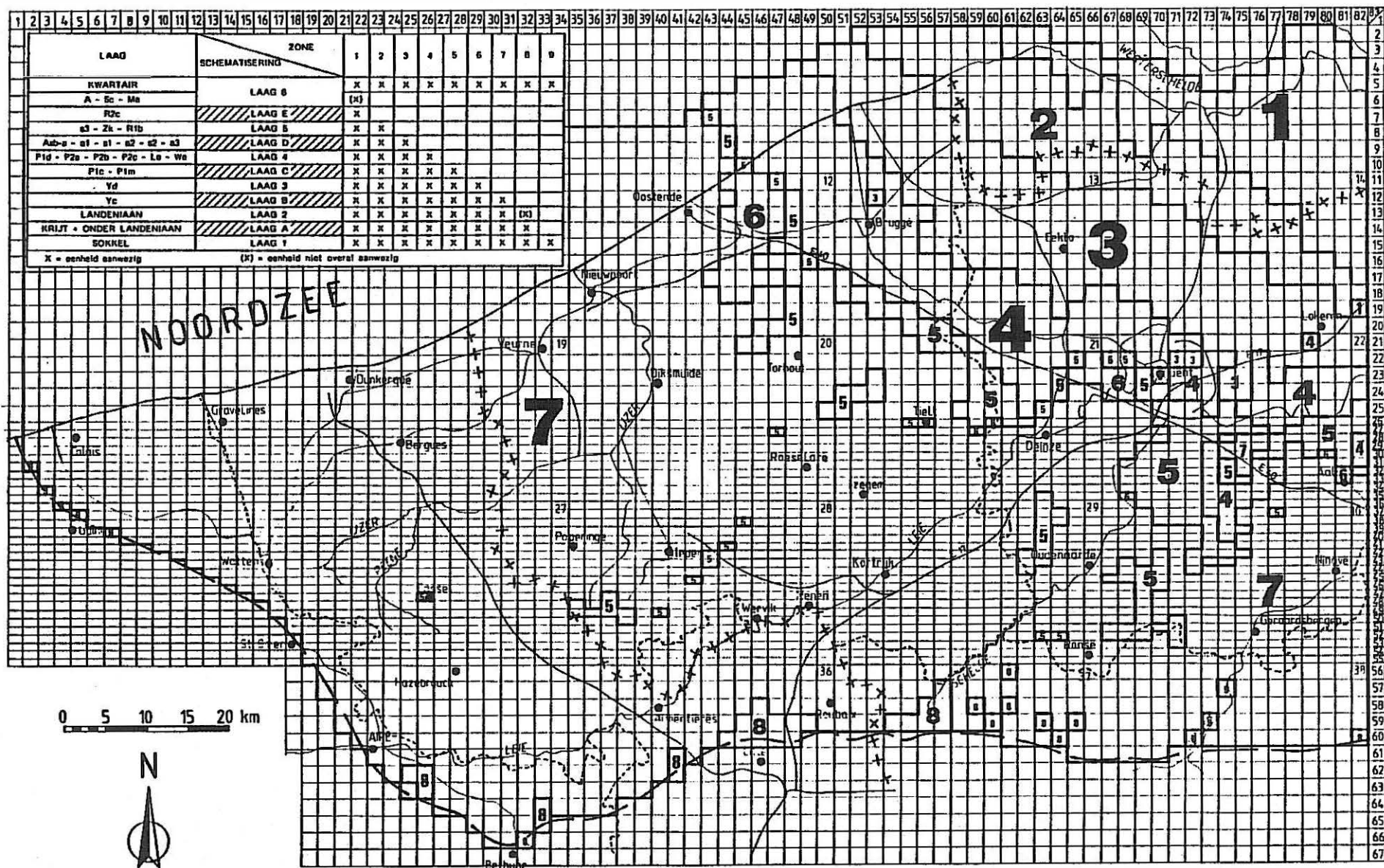


Fig. 1 Eindig-verschil netwerk van het numeriek model en hydrogeologische zonatie.

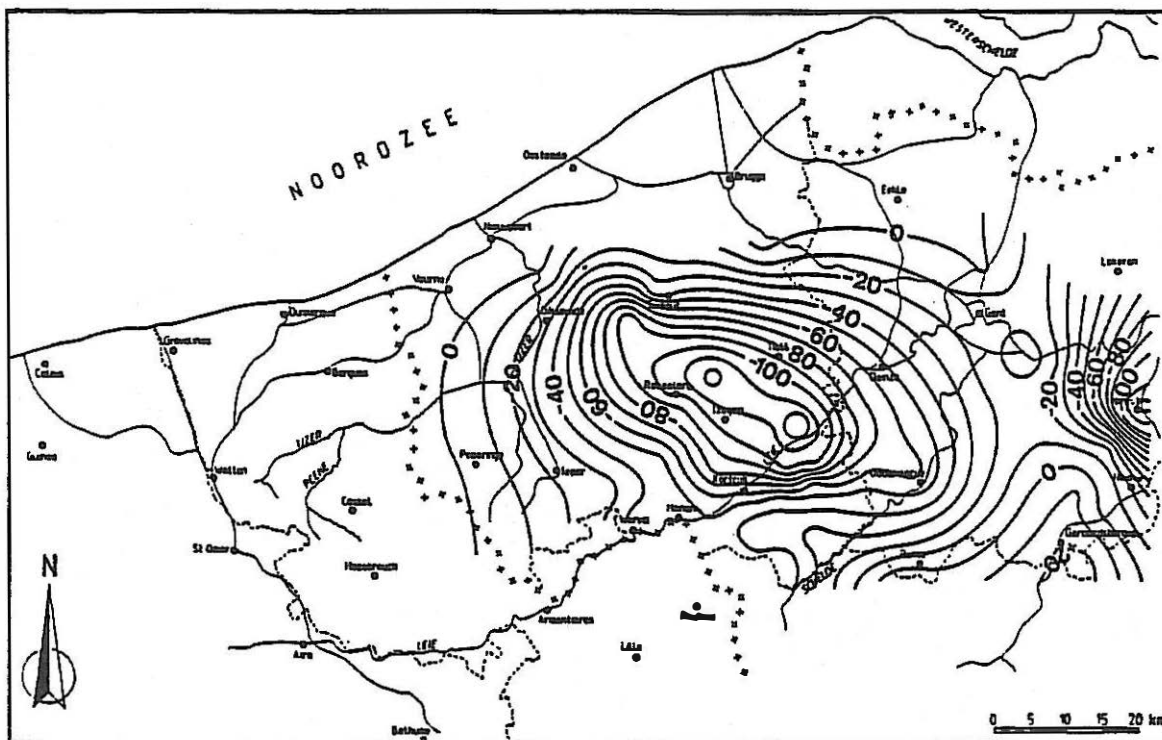


Fig. 2 Waargenomen stijghoogten van de sokkel tijdens de maand mei 1986.

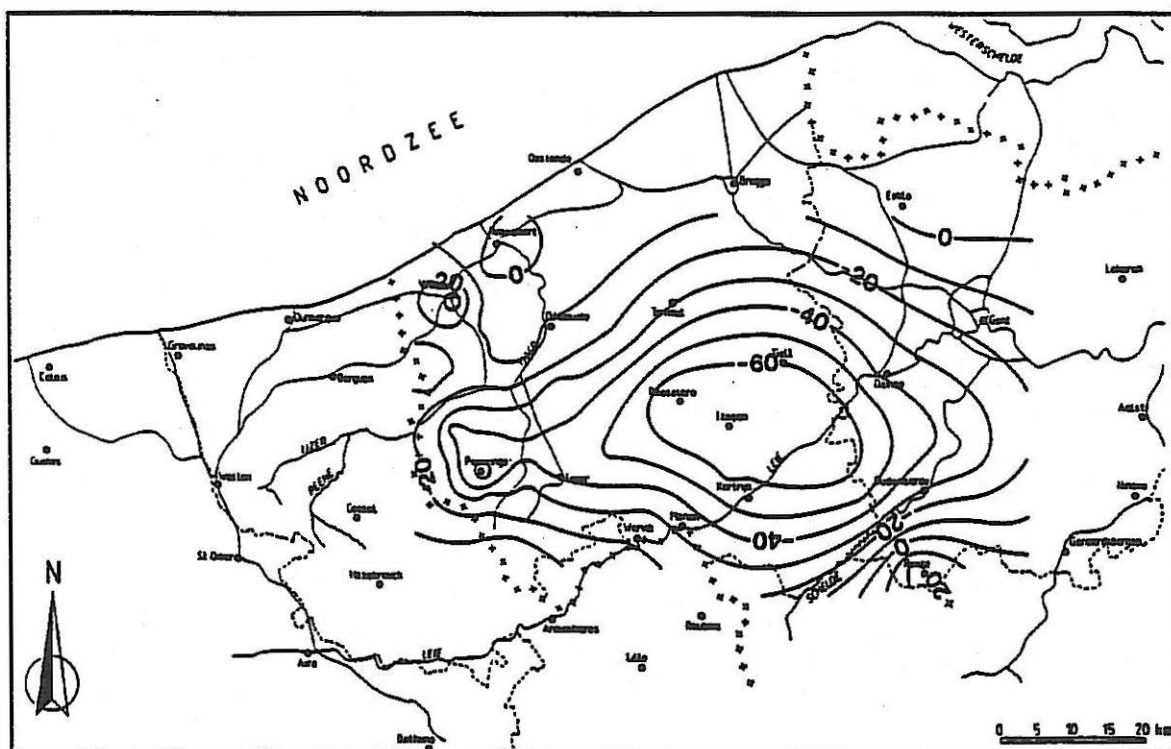


Fig. 3 Waargenomen stijghoogten van de watervoerende laag gevormd in de zanden van de Groep van Landen tijdens de maand mei 1986.

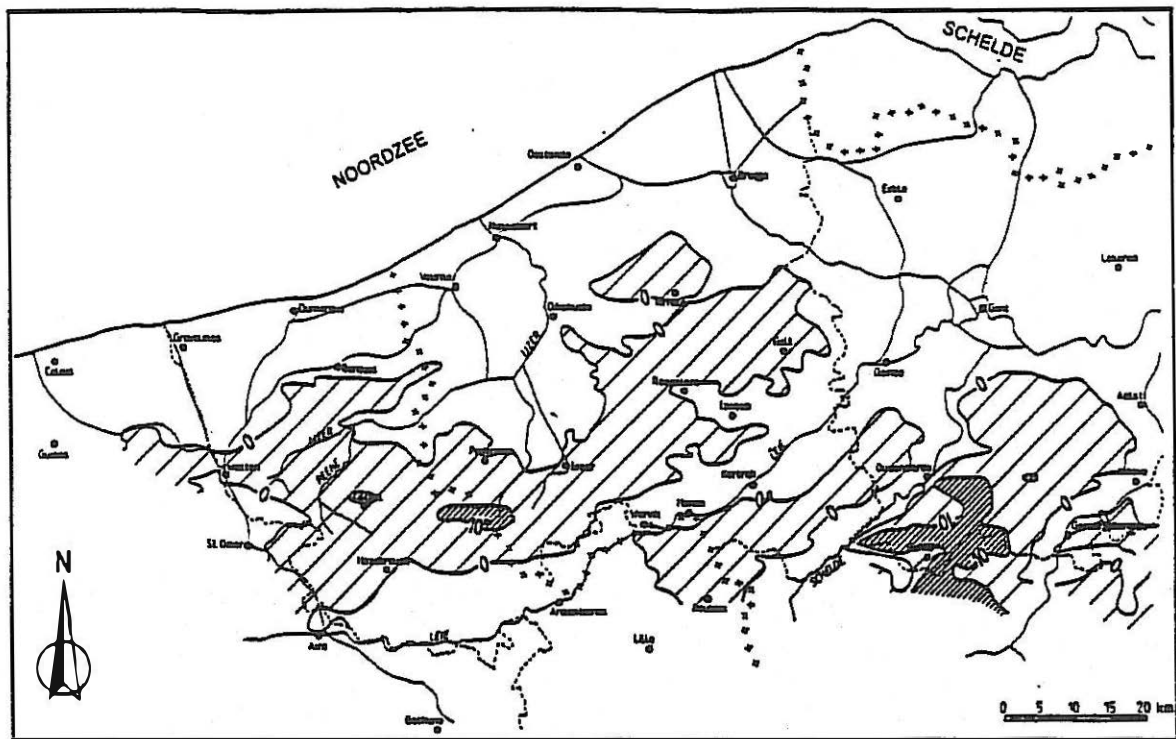


Fig. 4 Verticale Darciaanse doorstroming doorheen de klei van de Formatie van Kortrijk in een onaangepompte toestand.

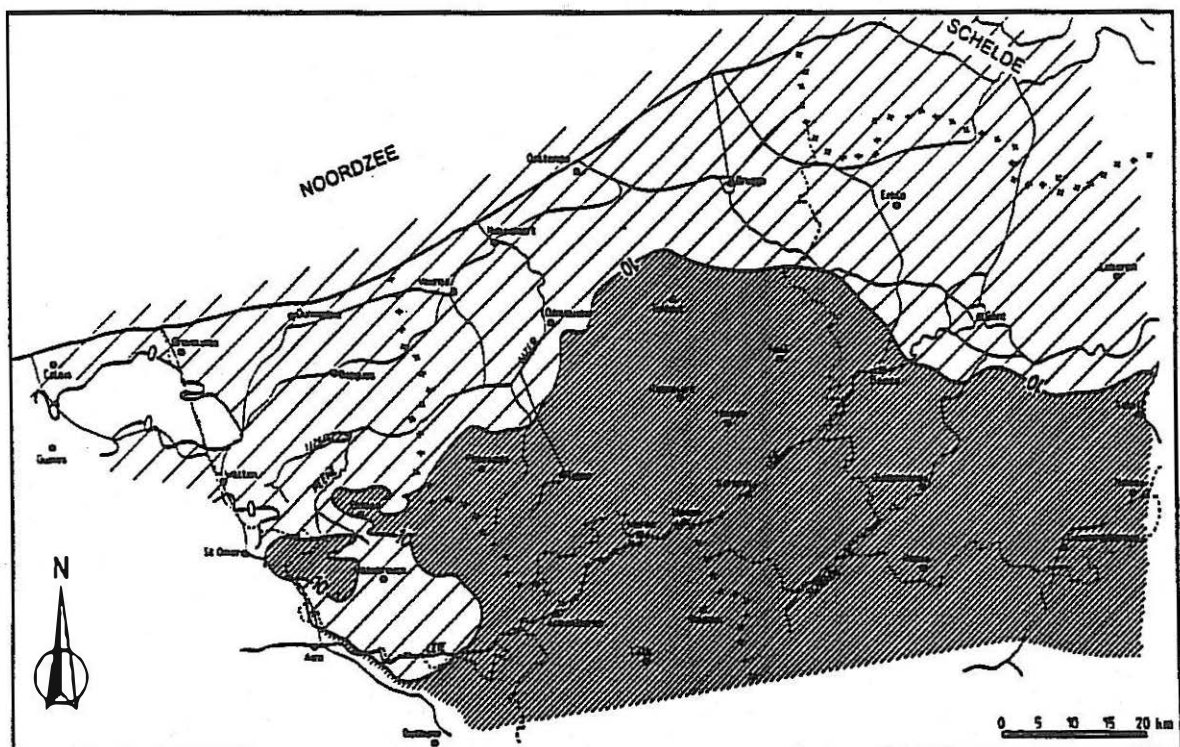


Fig. 5 Verticale Darciaanse doorstroming doorheen de klei van de Formatie van Kortrijk bij de aangepompte toestand van 1986.

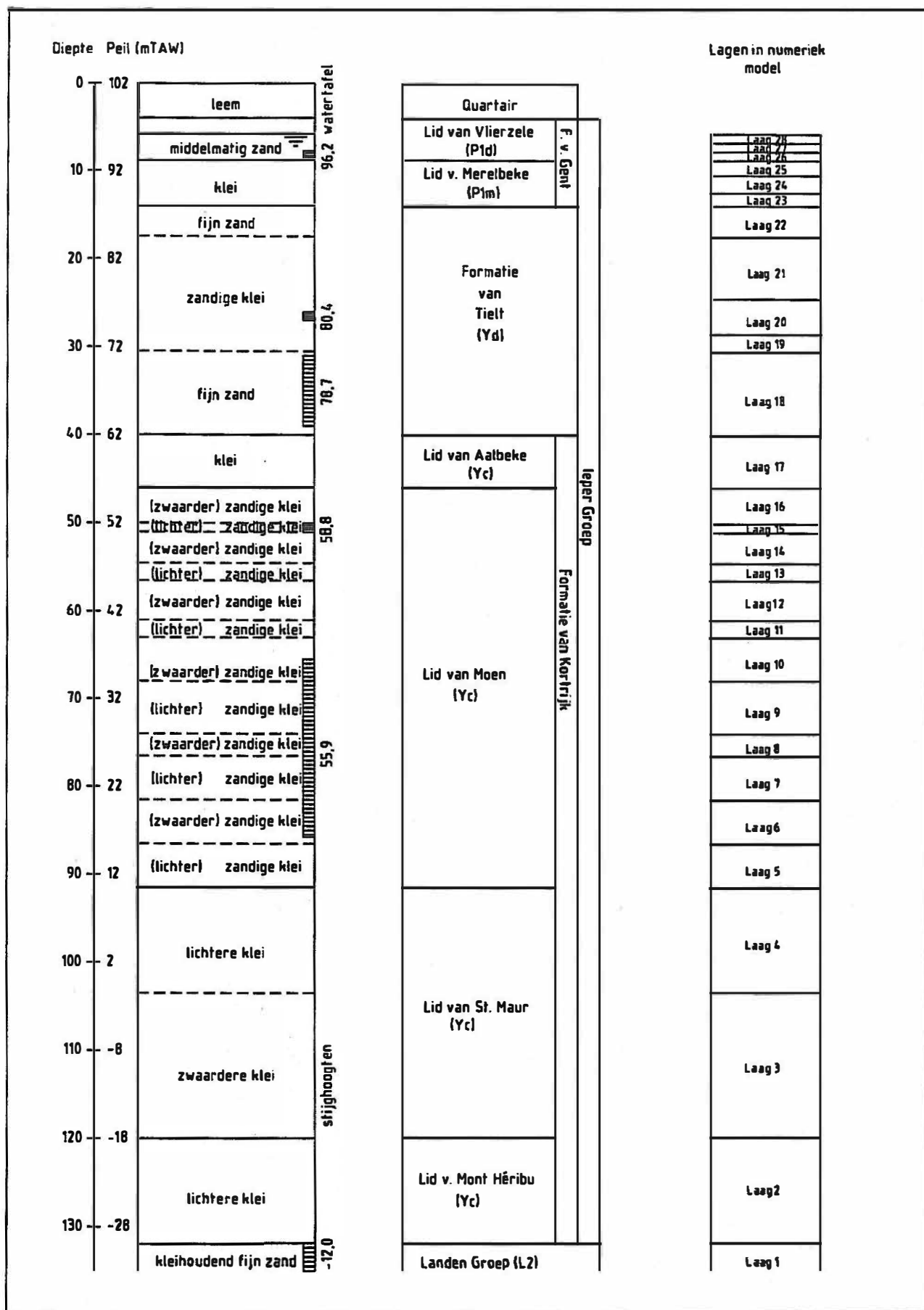


Fig. 6

Lithostratigrafische doorsnede, ligging van de filters van de peilput en de pompputten van de drievoudige pompproef te Elst en discretisatie van het grondwaterreservoir in het invers axi-symmetrische twee-dimensionale model voor de gezamenlijke interpretatie van de pompproef.





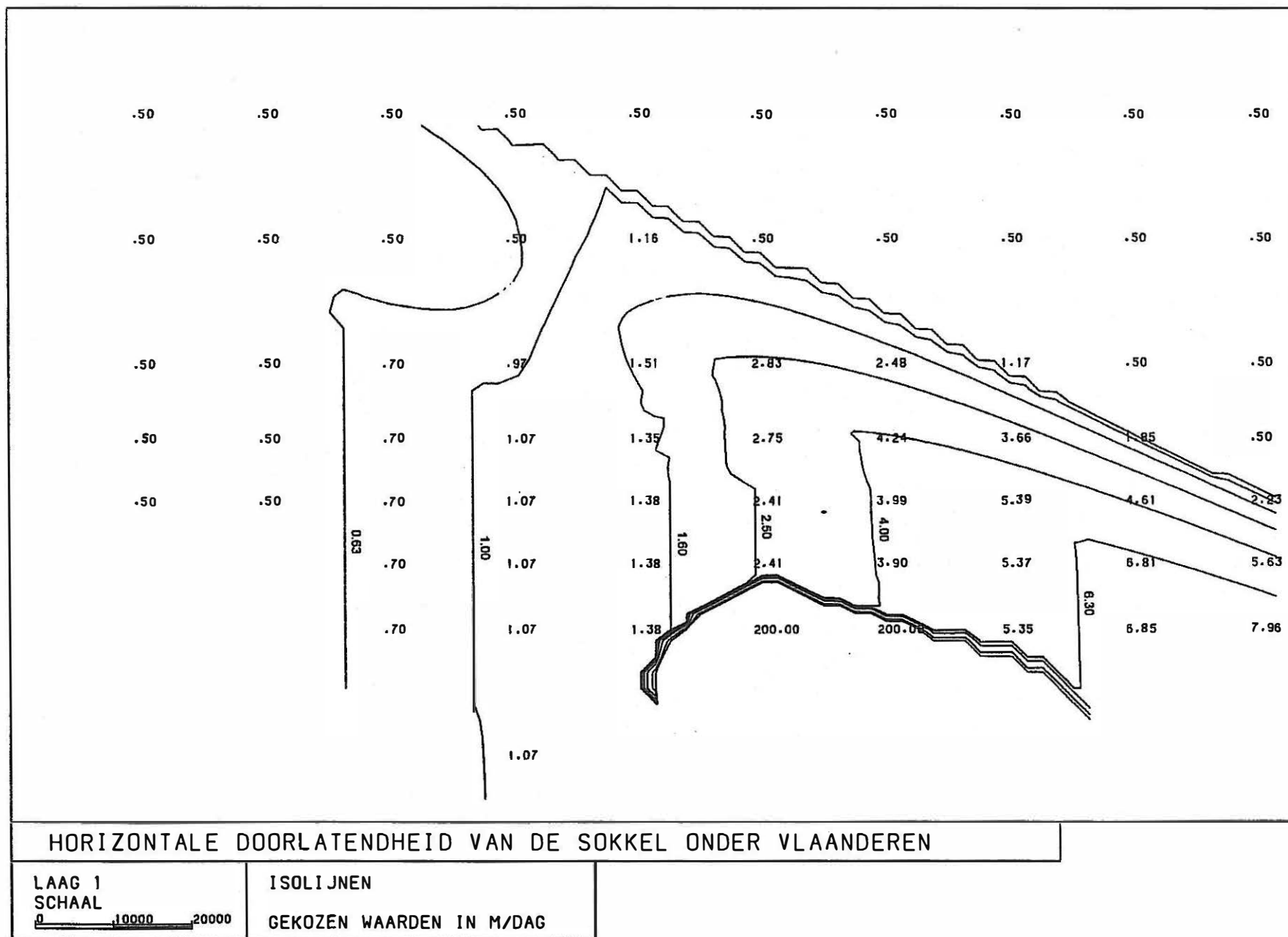
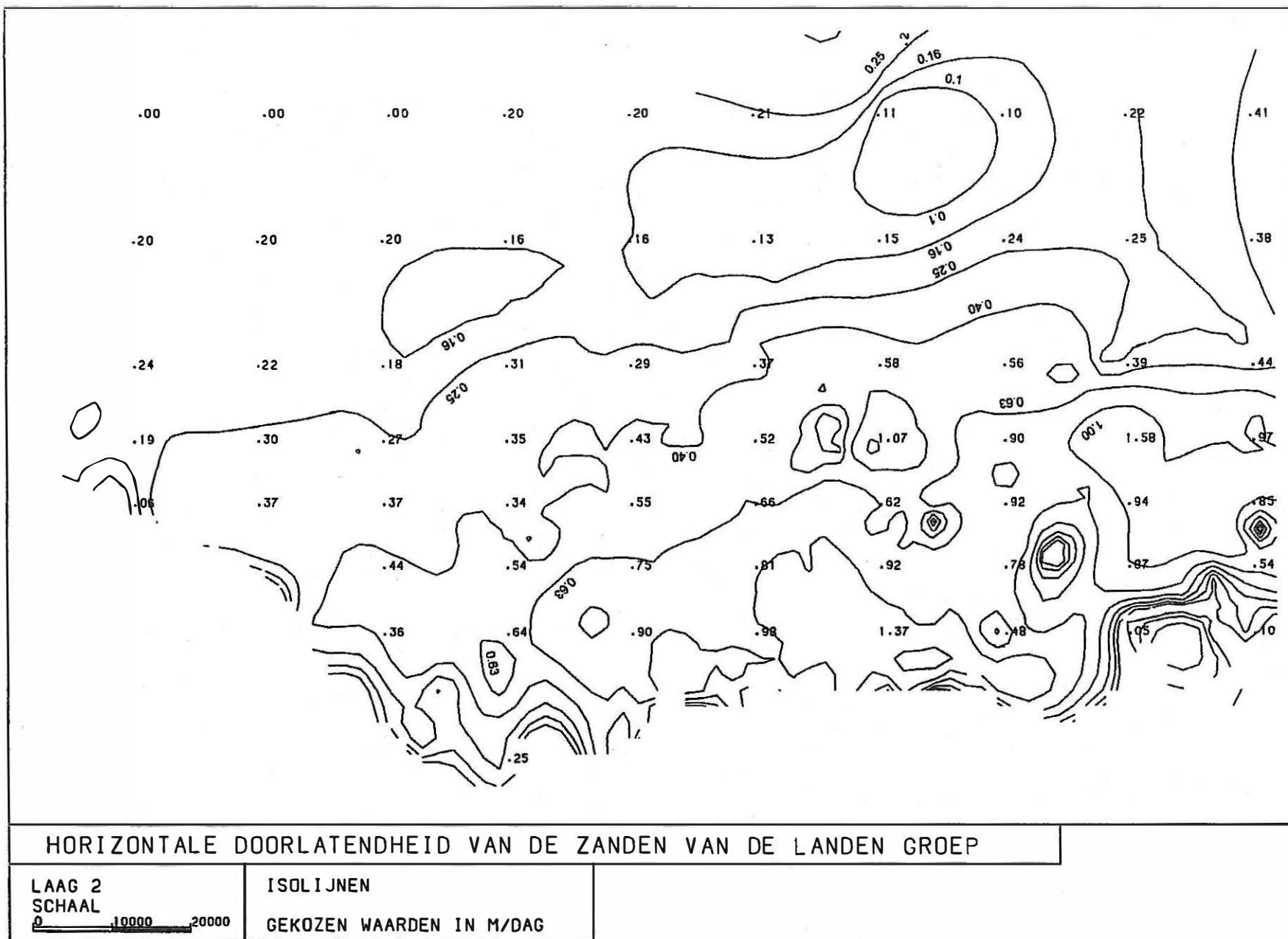


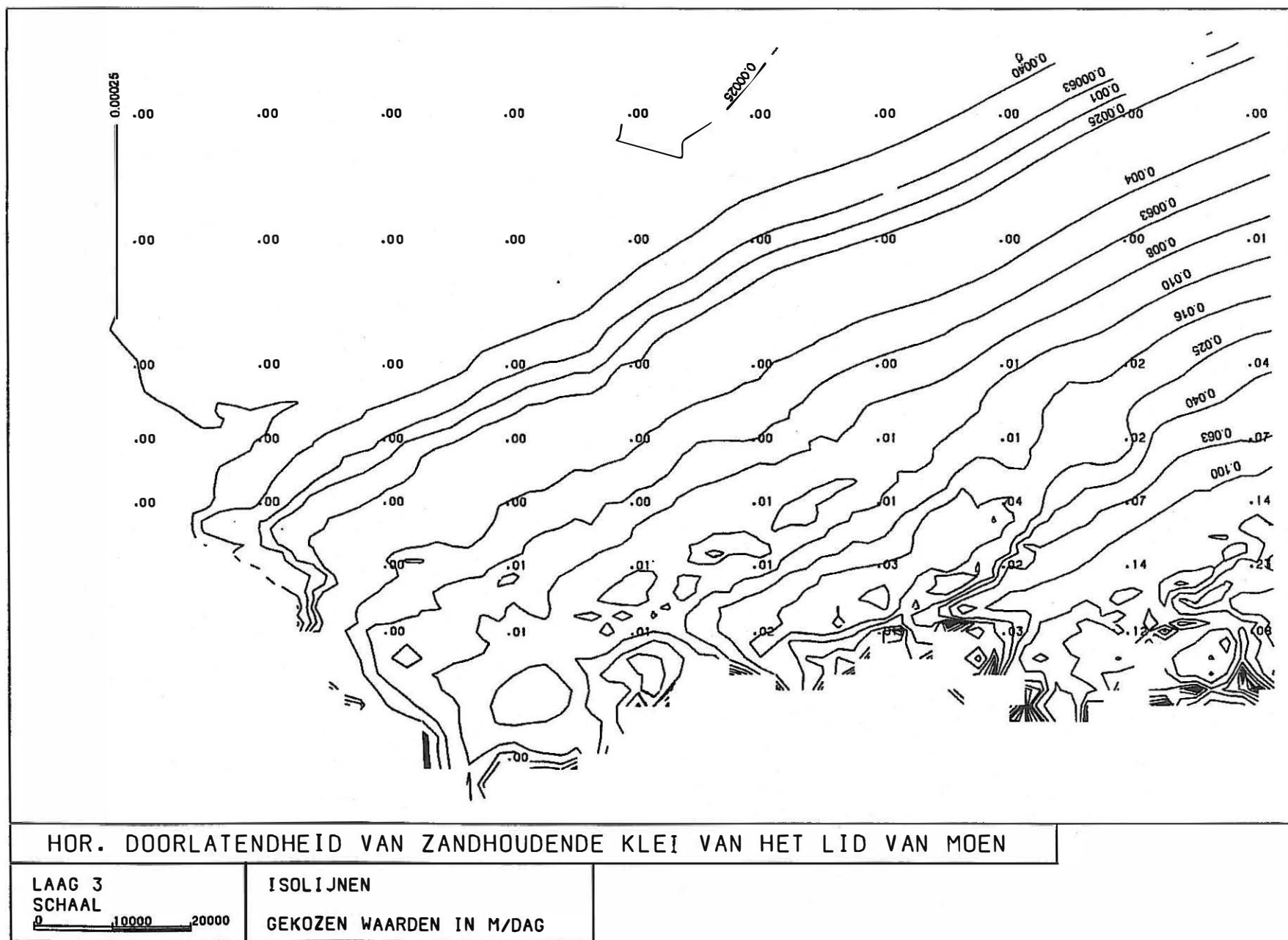
Fig. 8

Contourlijnen van de ingevoerde schijnbare horizontale doorlatendheid van Laag 1 bij het geactualiseerde model. Vermenigvuldigt men deze waarde met de ingevoerde dikte van de Laag 1, nl. 10 m, dan verkrijgt men het ingevoerde doorlaatvermogen van de sokkel.



**Fig. 9**

Contourlijnen van de ingevoerde schijnbare horizontale doorlatendheid van Laag 2 bij het geactualiseerde model. Vermenigvuldigt men deze waarde met de ingevoerde dikte van Laag 2, nl. 11 m, dan verkrijgt men het ingevoerde doorlaatvermogen van de watervoerende laag gevormd door de zanden van de Landen Groep.



**Fig. 10** Contourlijnen van de ingevoerde schijnbare horizontale doorlatendheden van Laag 3 bij het geactualiseerde model. Als men deze waarden vermenigvuldigt met de ingevoerde dikte van Laag 3, nl. 45.5 m, verkrijgt men het doorlaatvermogen van het Lid van Moen.

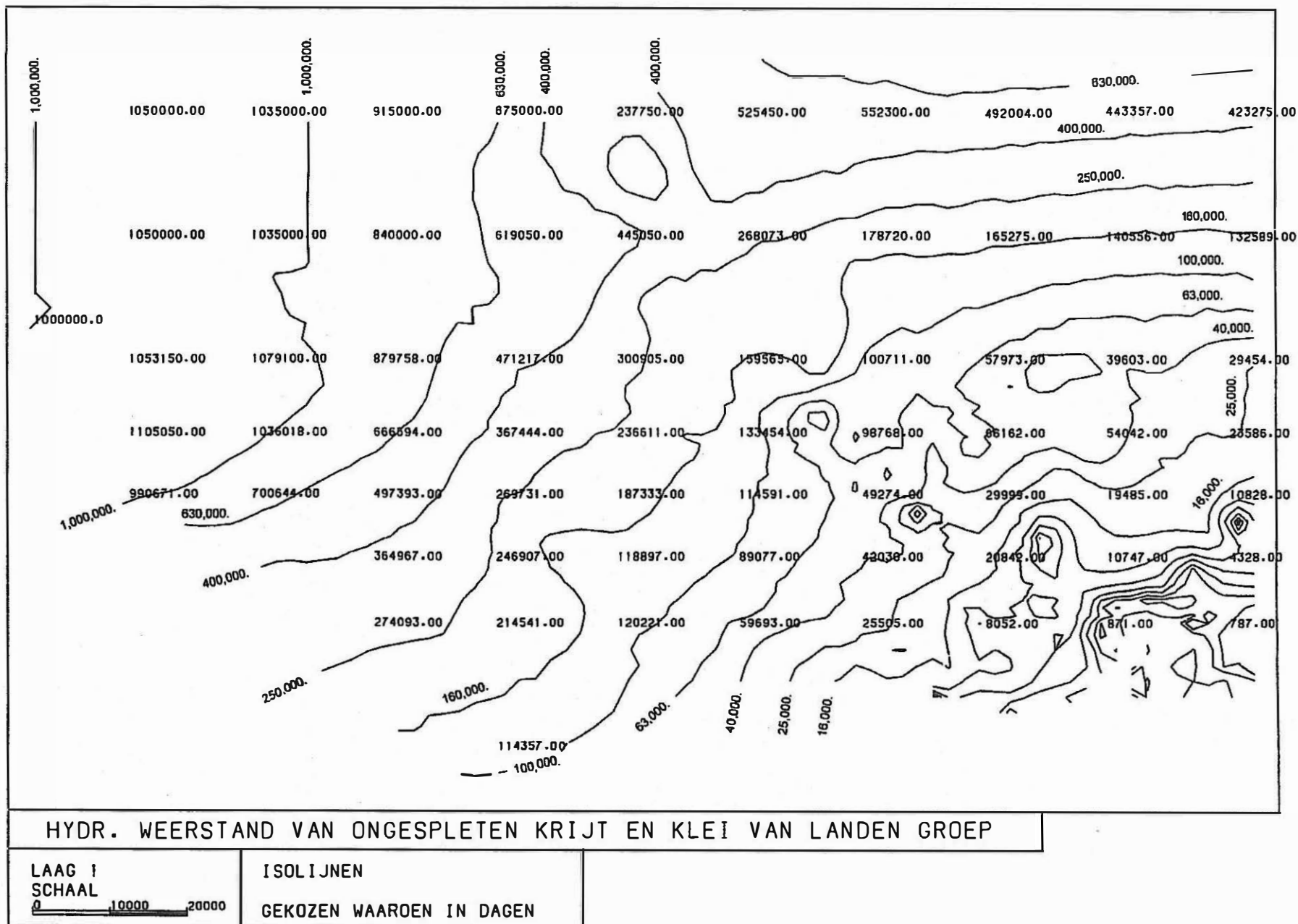


Fig. 11 Contourlijnen van de ingevoerde hydraulische weerstand van Horizon A van de geactualiseerde versie van het model.

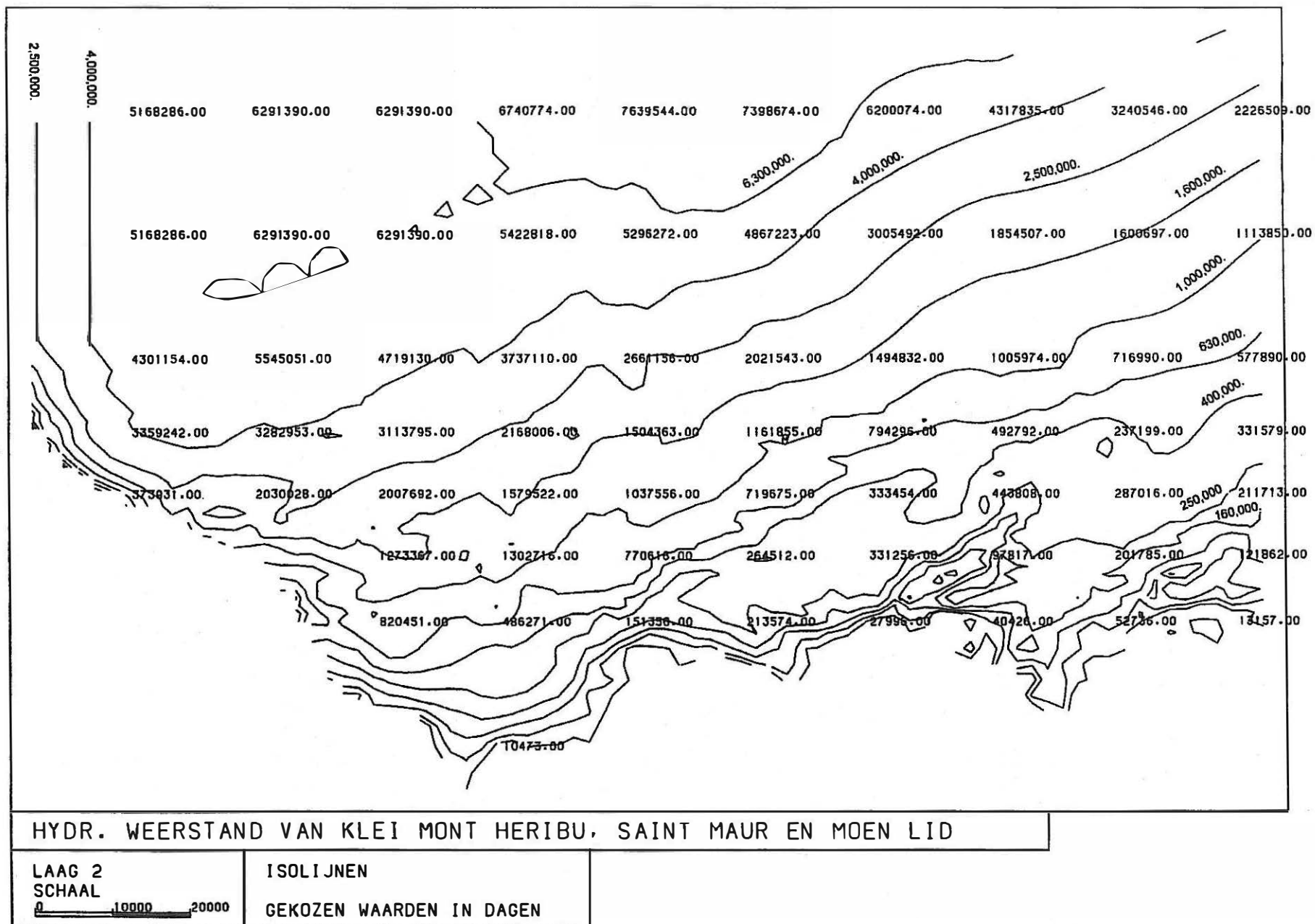


Fig. 12

Contourlijnen van de hydraulische weerstand van Horizon B van de geactualiseerde versie van het model zoals ingevoerd bij het best passende scenario. Hierbij werden alle waarden bekomen met vergelijking (9) vermenigvuldigd met een factor 2.5.



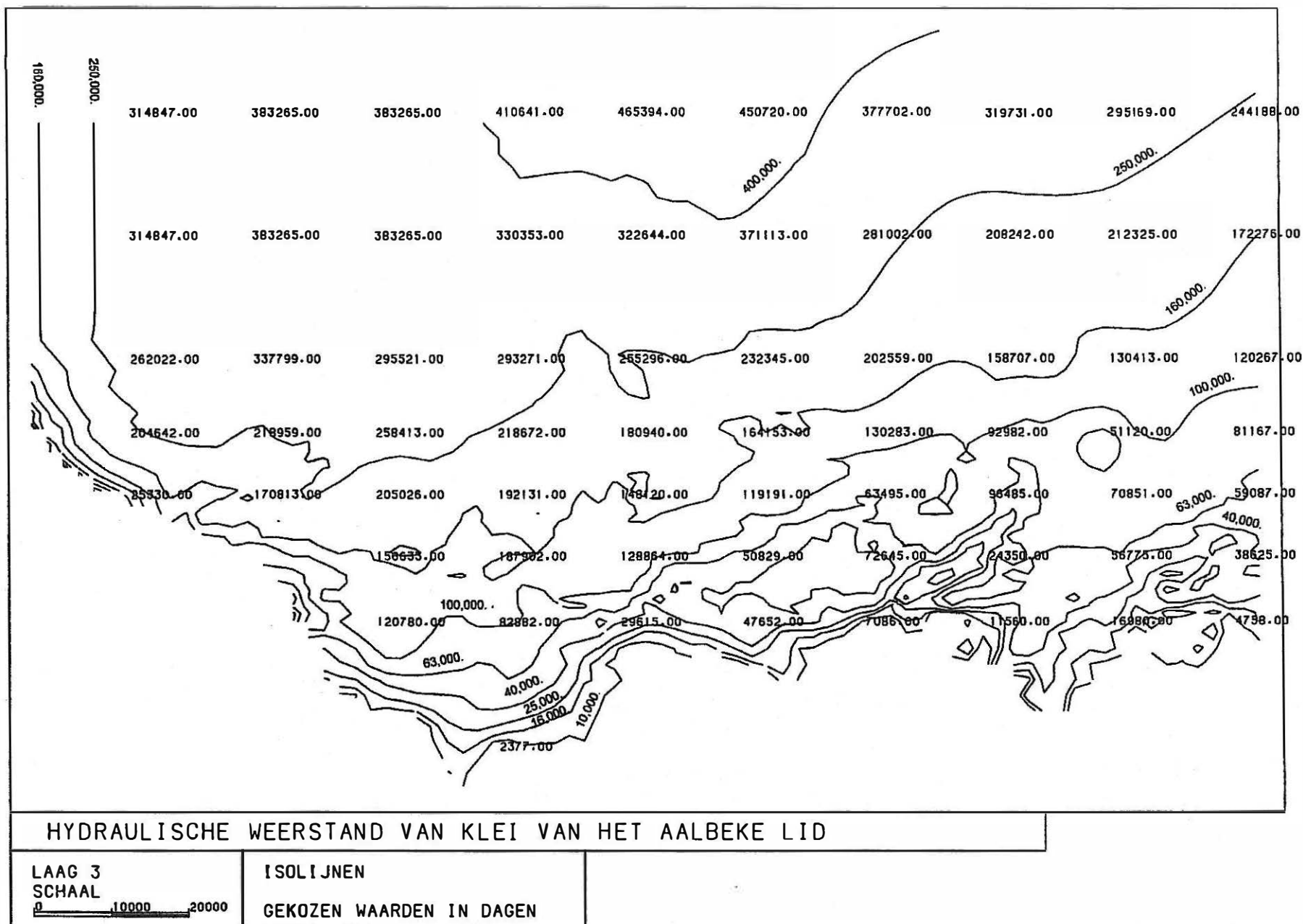


Fig. 13

Contourlijnen van de hydraulische weerstand van Horizon C van de geactualiseerde versie van het model zoals ingevoerd bij het best passende scenario. Hierbij werden alle waarden bekomen met vergelijking (11) vermenigvuldigd met een factor 2.5.

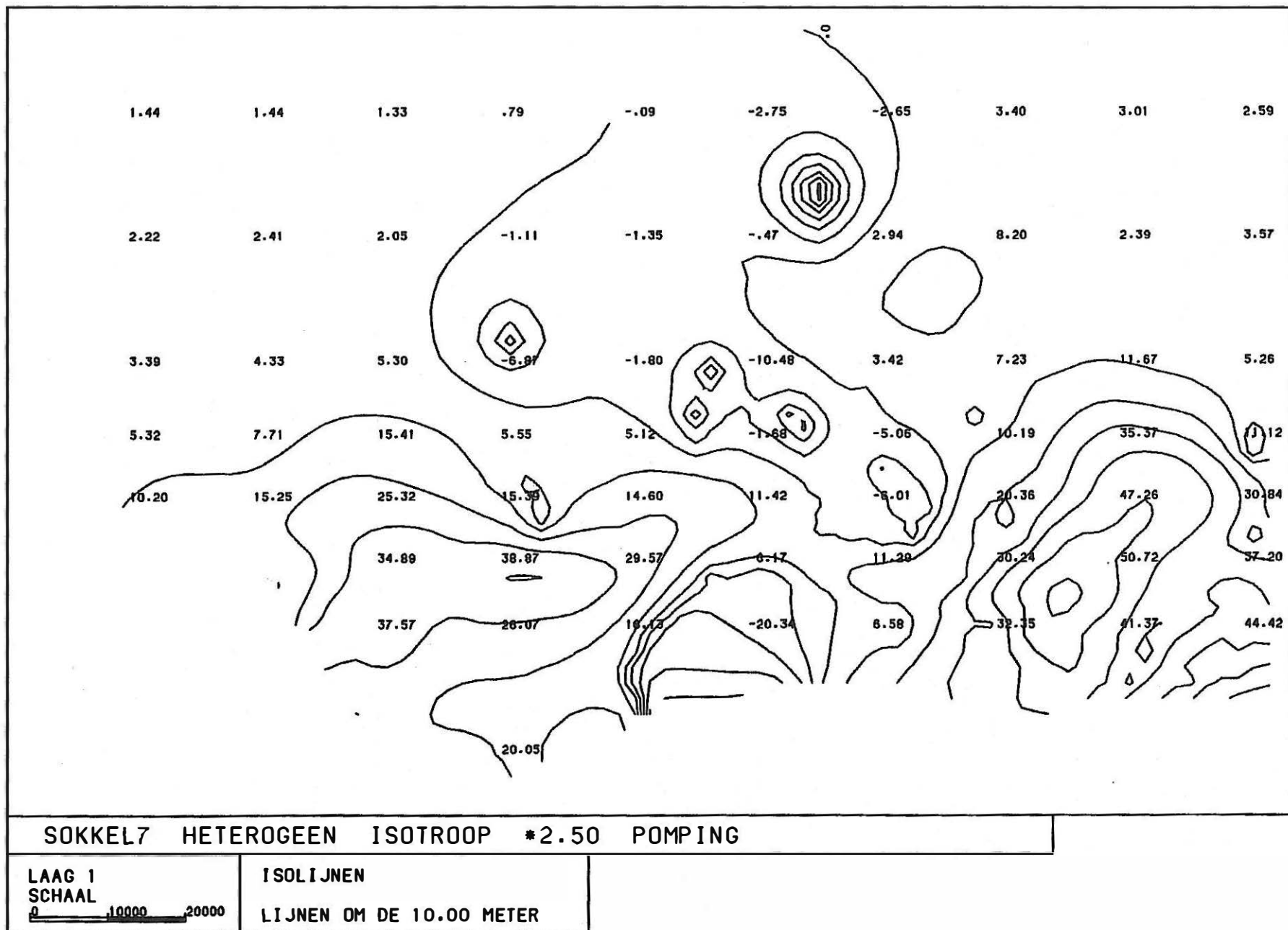


Fig. 14

Berekende hydraulische stijghoogten van de sokkel waarbij de hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk berekend volgens vergelijkingen (9) en (11) wordt vermenigvuldigd met een factor 2.5. De sokkel wordt beschouwd als een heteroogeen lateraal isotroop medium.

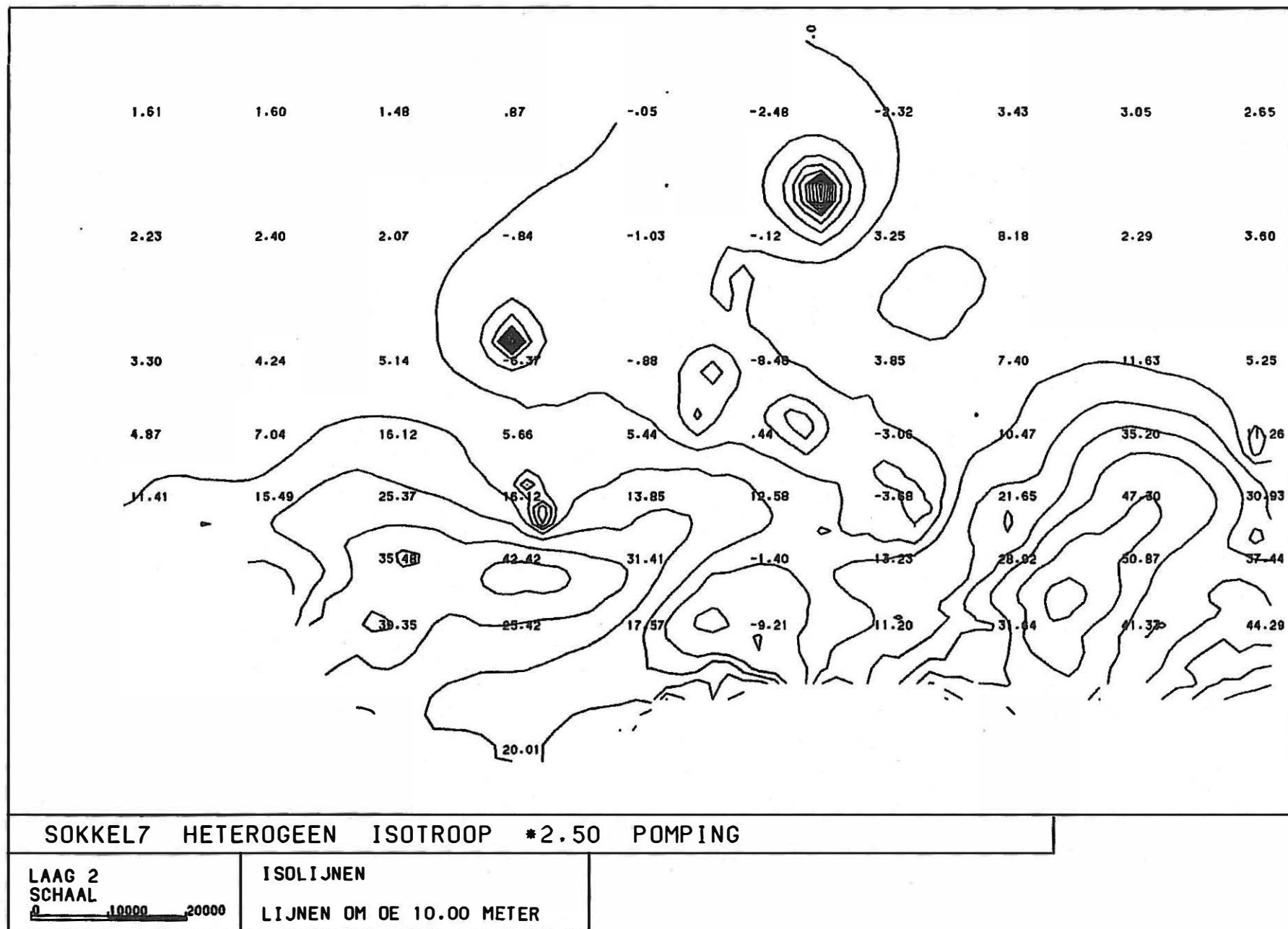


Fig. 15

Berekende hydraulische stijghoogten van de watervoerende laag in de zanden van de Landen Groep. De hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk berekend volgens vergelijkingen (9) en (11) wordt vermenigvuldigd met een factor 2.5. De sokkel wordt beschouwd als een heterogeen lateraal isotroop medium.

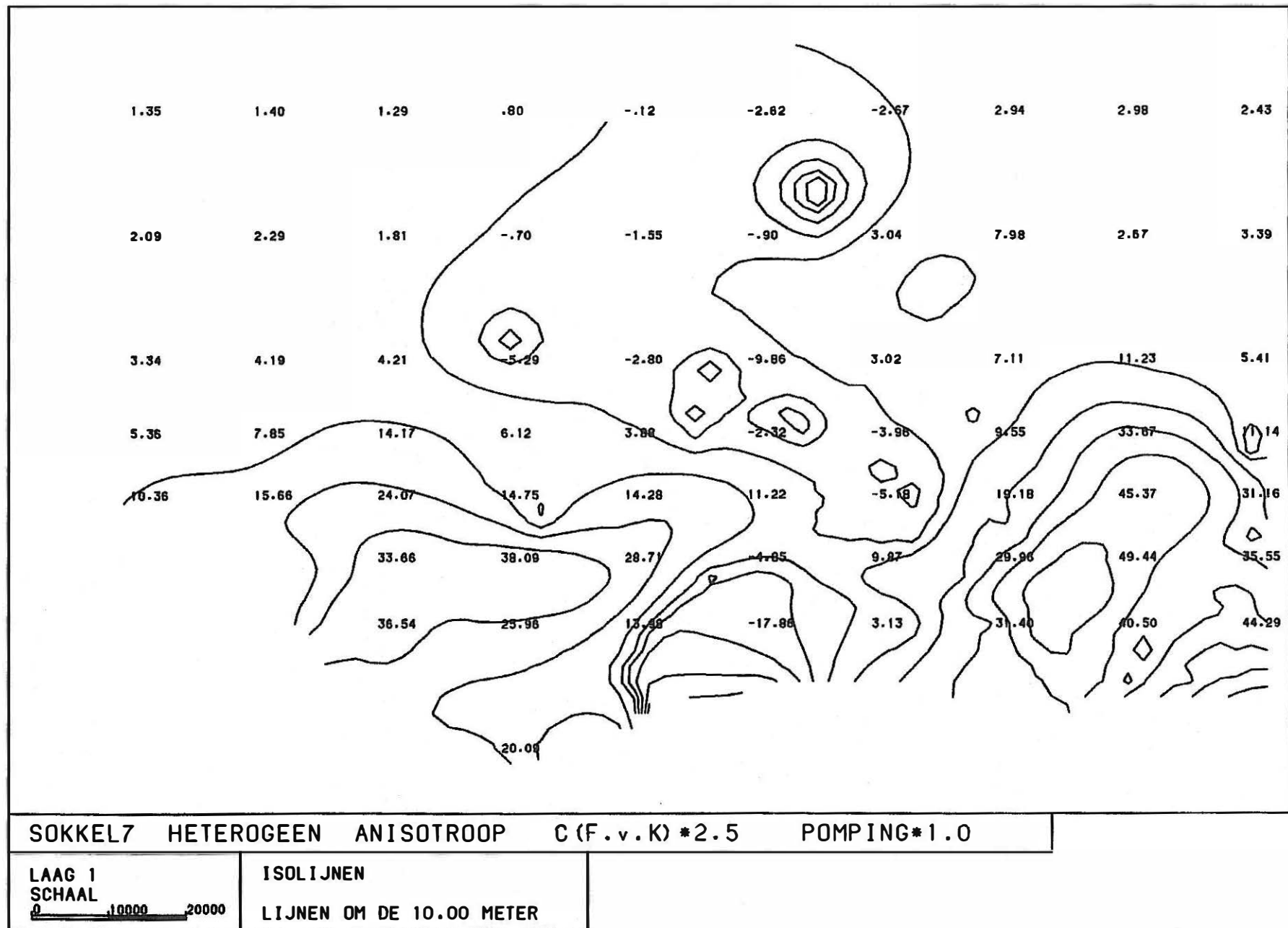


Fig. 16

Berekende hydraulische stijghoogten van de sokkel waarbij de hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk berekend volgens vergelijkingen (9) en (11) wordt vermenigvuldigd met een factor 2.5. De sokkel wordt beschouwd als een heterogeen lateraal anisotroop medium.

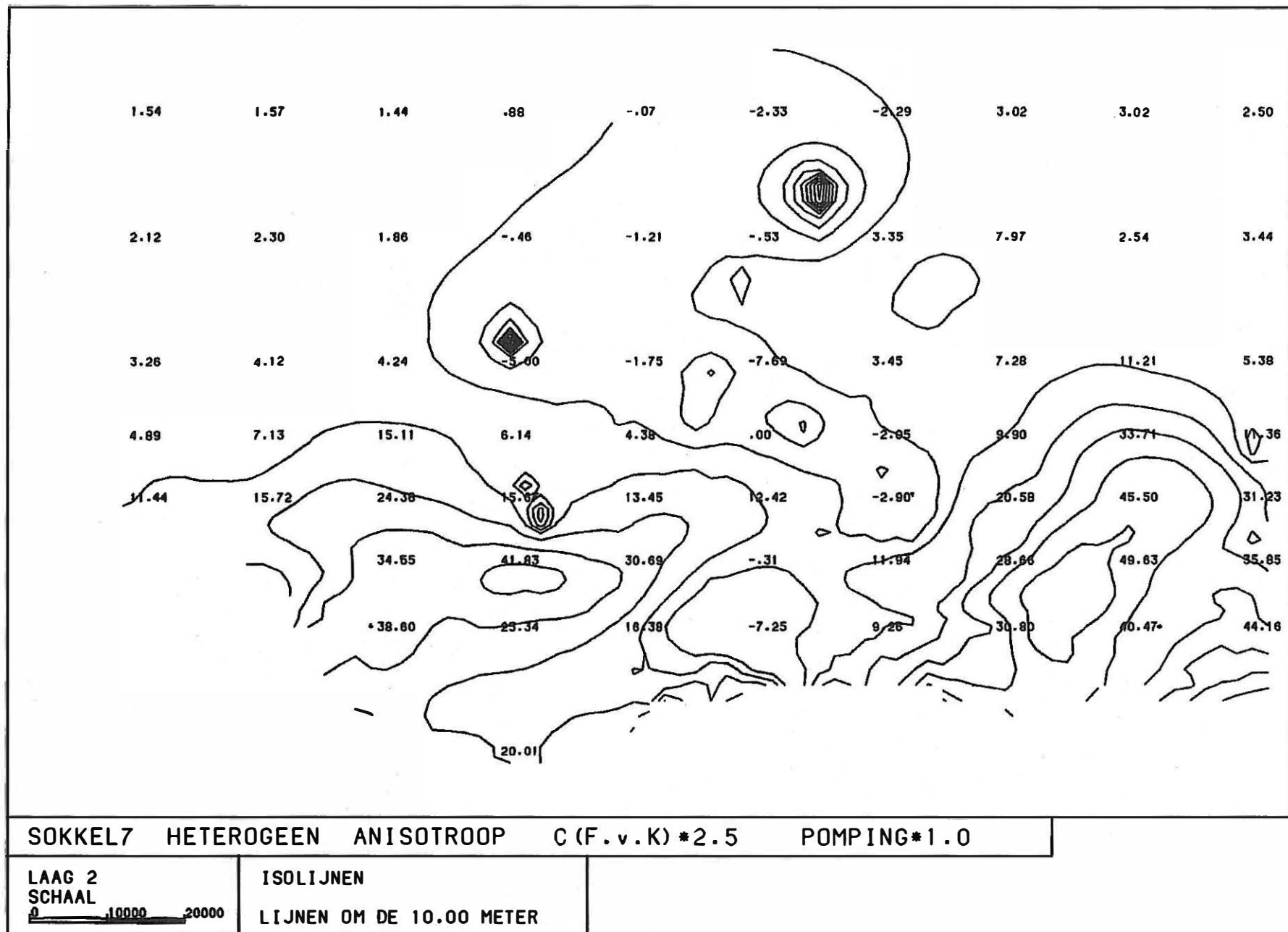
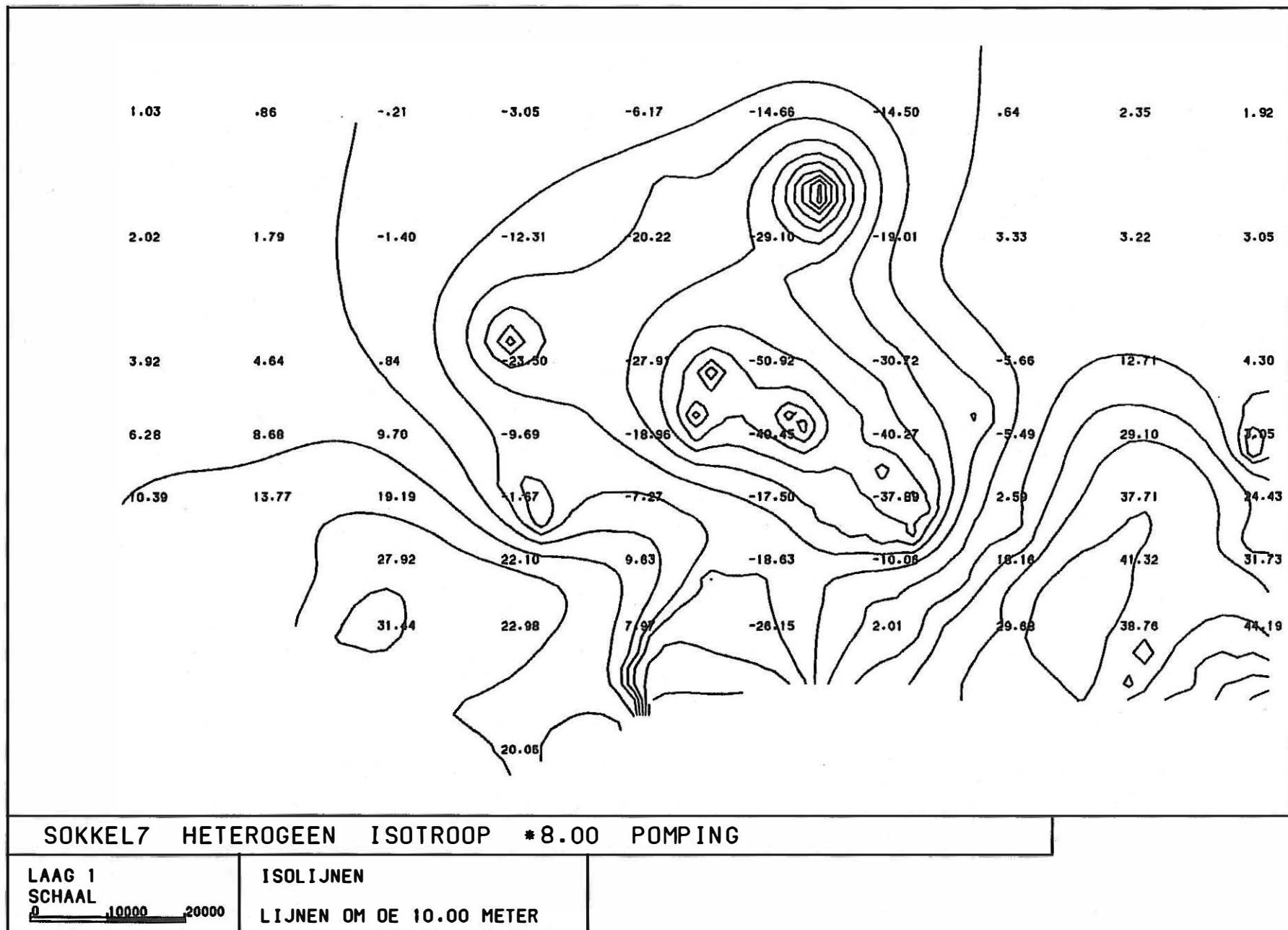


Fig. 17

Berekende hydraulische stijghoogten van de watervoerende laag in de zanden van de Landen Groep. De hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk berekend volgens vergelijkingen (9) en (11) wordt vermenigvuldigd met een factor 2.5. De sokkel wordt beschouwd als een lateraal anisotroop medium.



**Fig. 18** Berekende hydraulische stijghoogten van de sokkel waarbij de hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk berekend volgens vergelijkingen (9) en (11) wordt vermenigvuldigd met een factor 8.0. De sokkel wordt beschouwd als een heteroogeen lateraal isotroop medium.



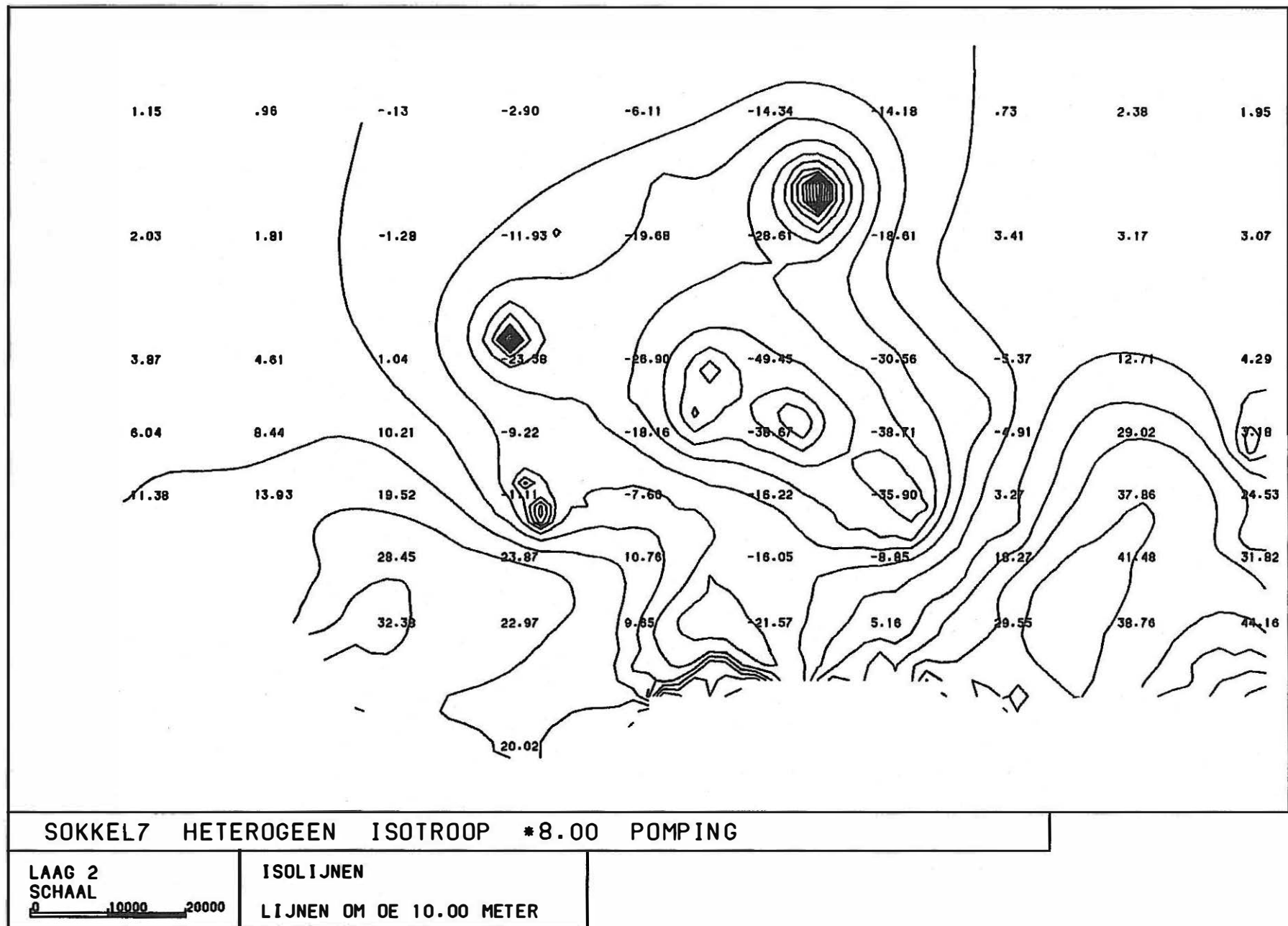


Fig. 19

Berekende hydraulische stijghoogten van de watervoerende laag in de zanden van de Landen Groep. De hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk berekend volgens vergelijkingen (9) en (11) wordt vermenigvuldigd met een factor 8.0. De sokkel wordt beschouwd als een heterogeen lateraal isotroop medium.

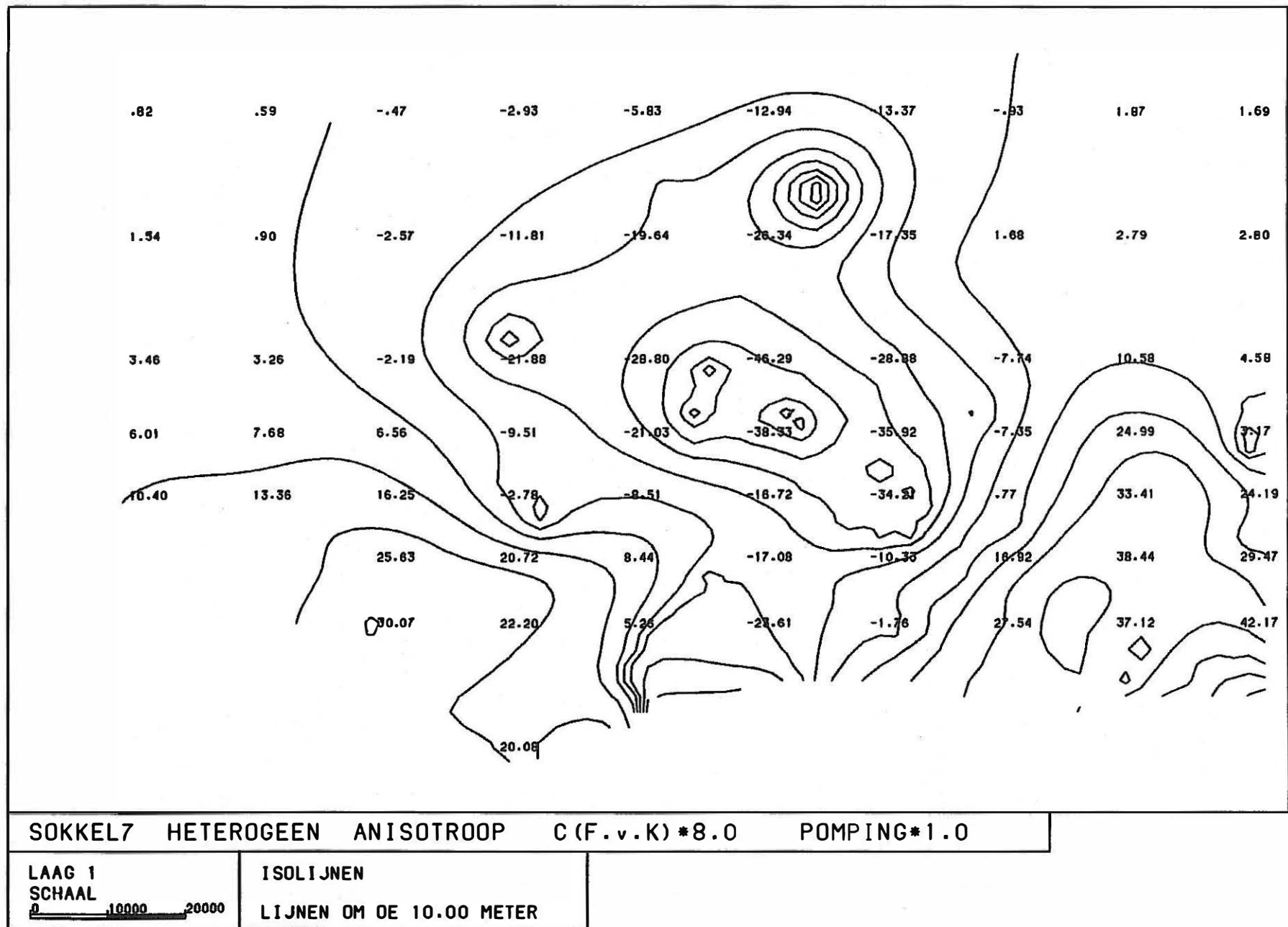
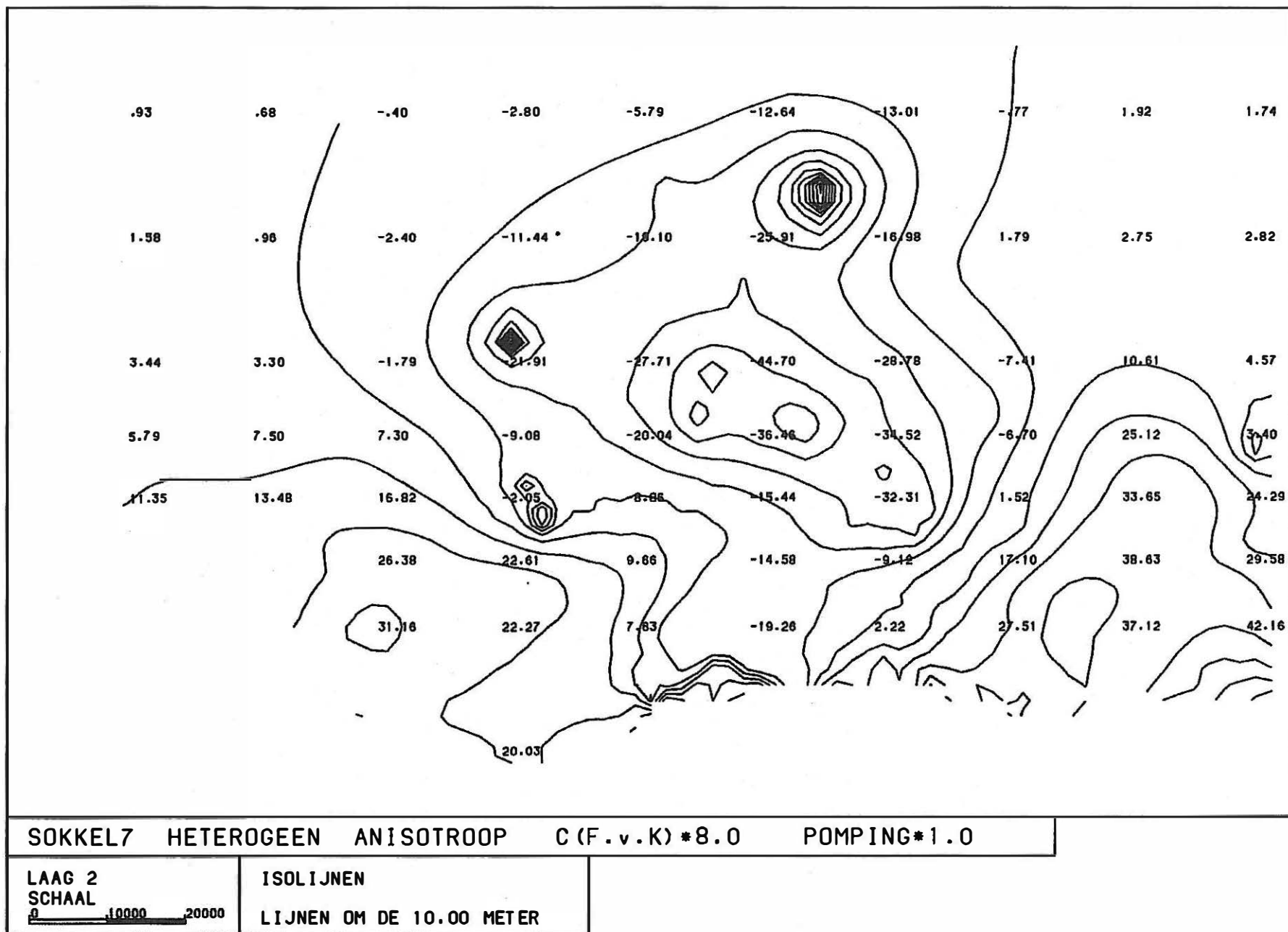


Fig. 20

Berekende hydraulische stijghoogten van de sokkel waarbij de hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk berekend volgens vergelijkingen (9) en (11) wordt vermenigvuldigd met een factor 8.0. De sokkel wordt beschouwd als een heteroogeen lateraal anisotroop medium.



**Fig. 21** Berekende hydraulische stijghoogten van de watervoerende laag in de zanden van de Landen Groep. De hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk berekend volgens vergelijkingen (9) en (11) wordt vermenigvuldigd met een factor 8.0. De sokkel wordt beschouwd als een lateraal anisotroop medium.

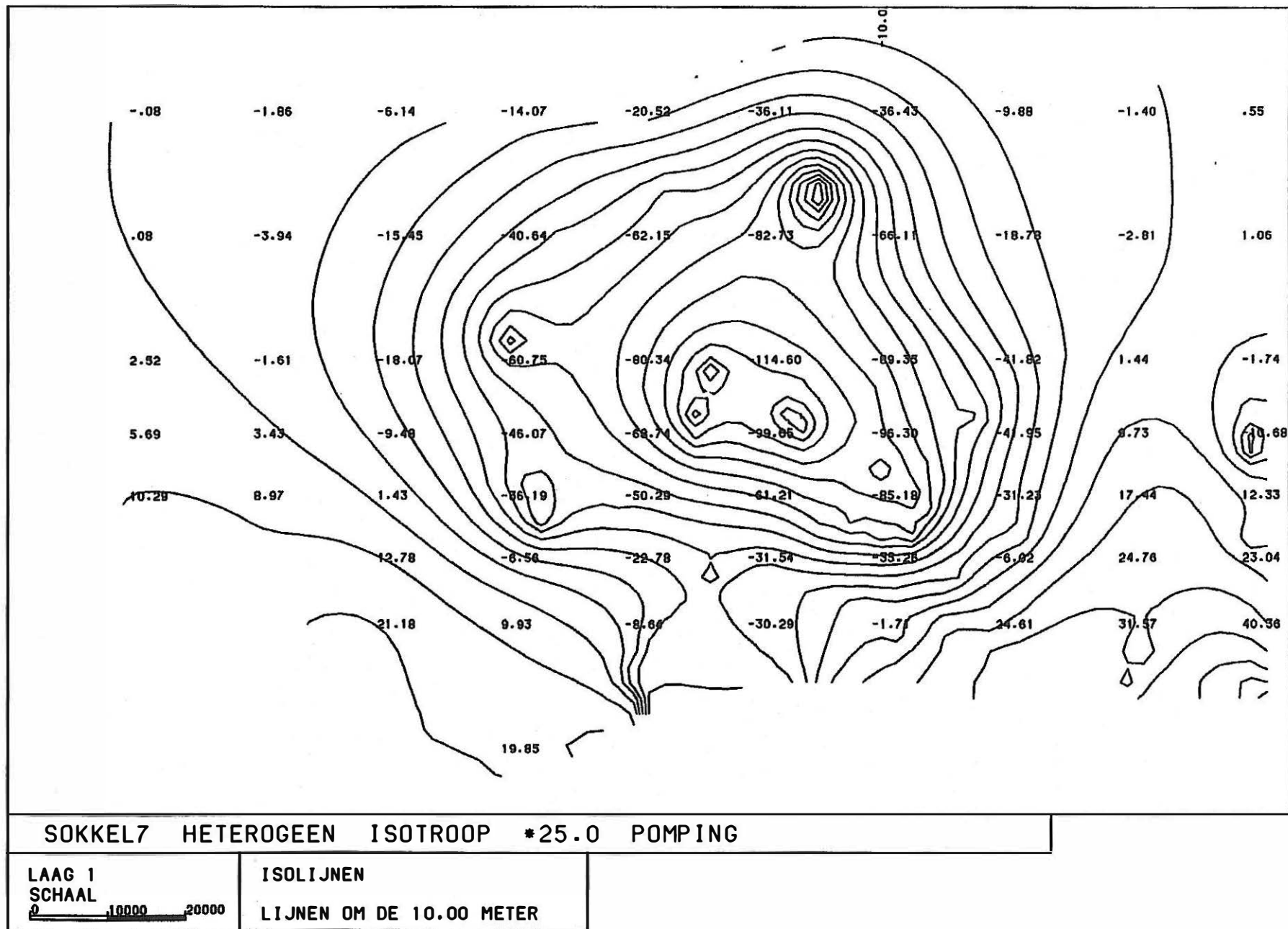


Fig. 22 Berekende hydraulische stijghoogten van de sokkel waarbij de hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk berekend volgens vergelijkingen (9) en (11) wordt vermenigvuldigd met een factor 25.0. De sokkel wordt beschouwd als een heterogeen lateraal isotroop medium.

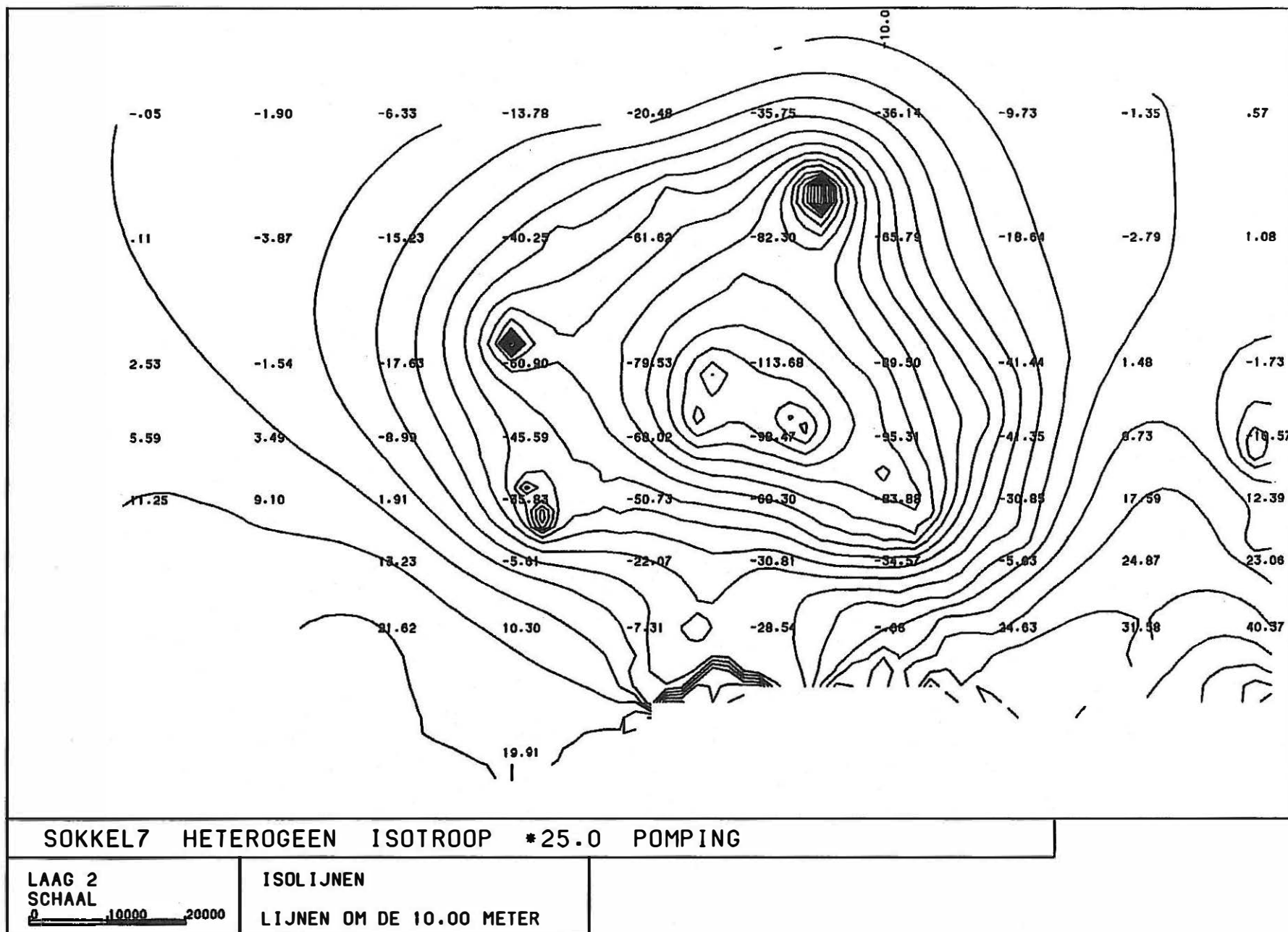


Fig. 23

Berekende hydraulische stijghoogten van de watervoerende laag in de zanden van de Landen Groep. De hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk berekend volgens vergelijkingen (9) en (11) wordt vermenigvuldigd met een factor 25.0. De sokkel wordt beschouwd als een heterogeen lateraal isotroop medium.

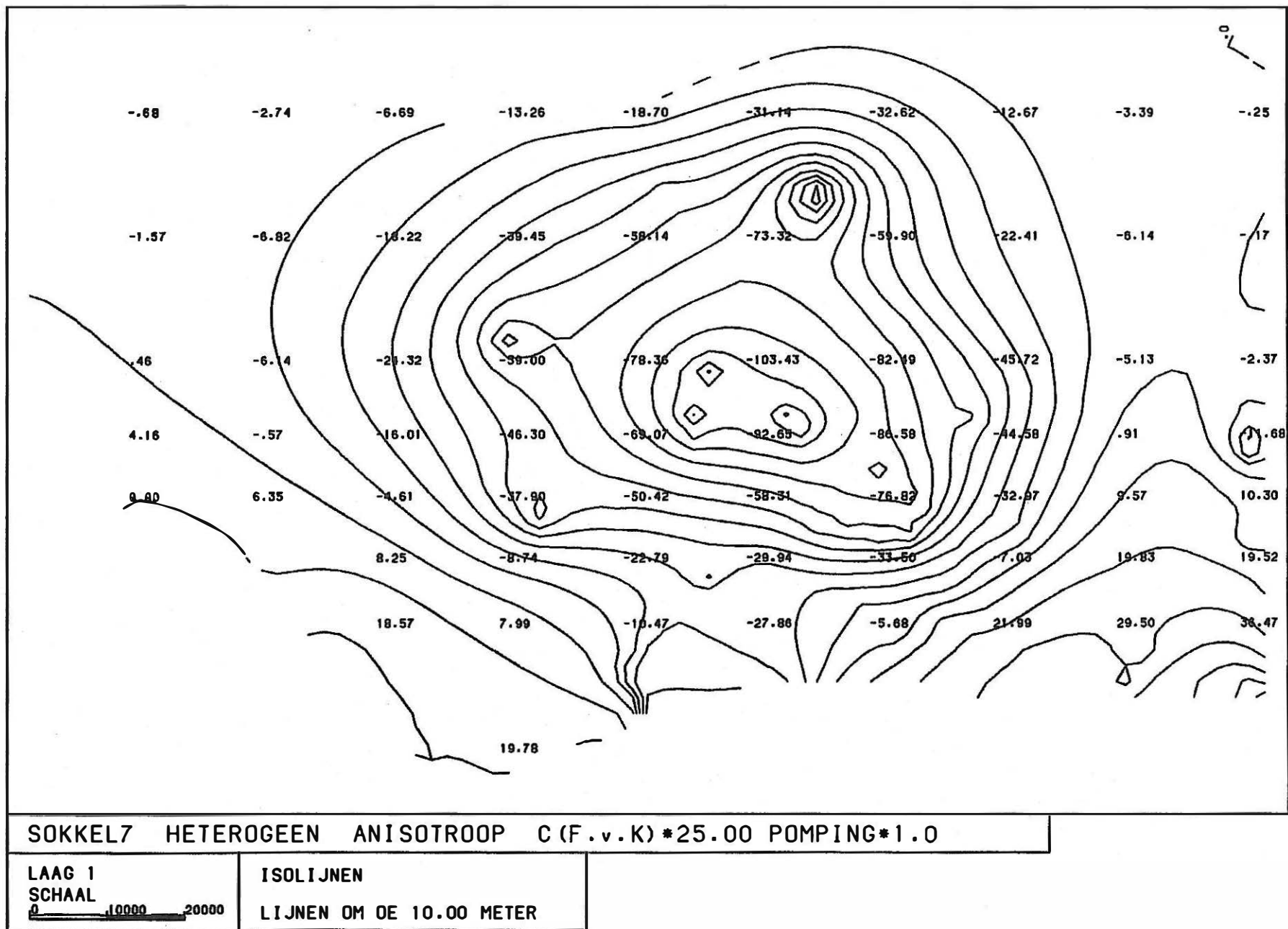


Fig. 24

Berekende hydraulische stijghoogten van de sokkel waarbij de hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk berekend volgens vergelijkingen (9) en (11) wordt vermenigvuldigd met een factor 25.0. De sokkel wordt beschouwd als een heterogeen lateraal anisotroop medium.



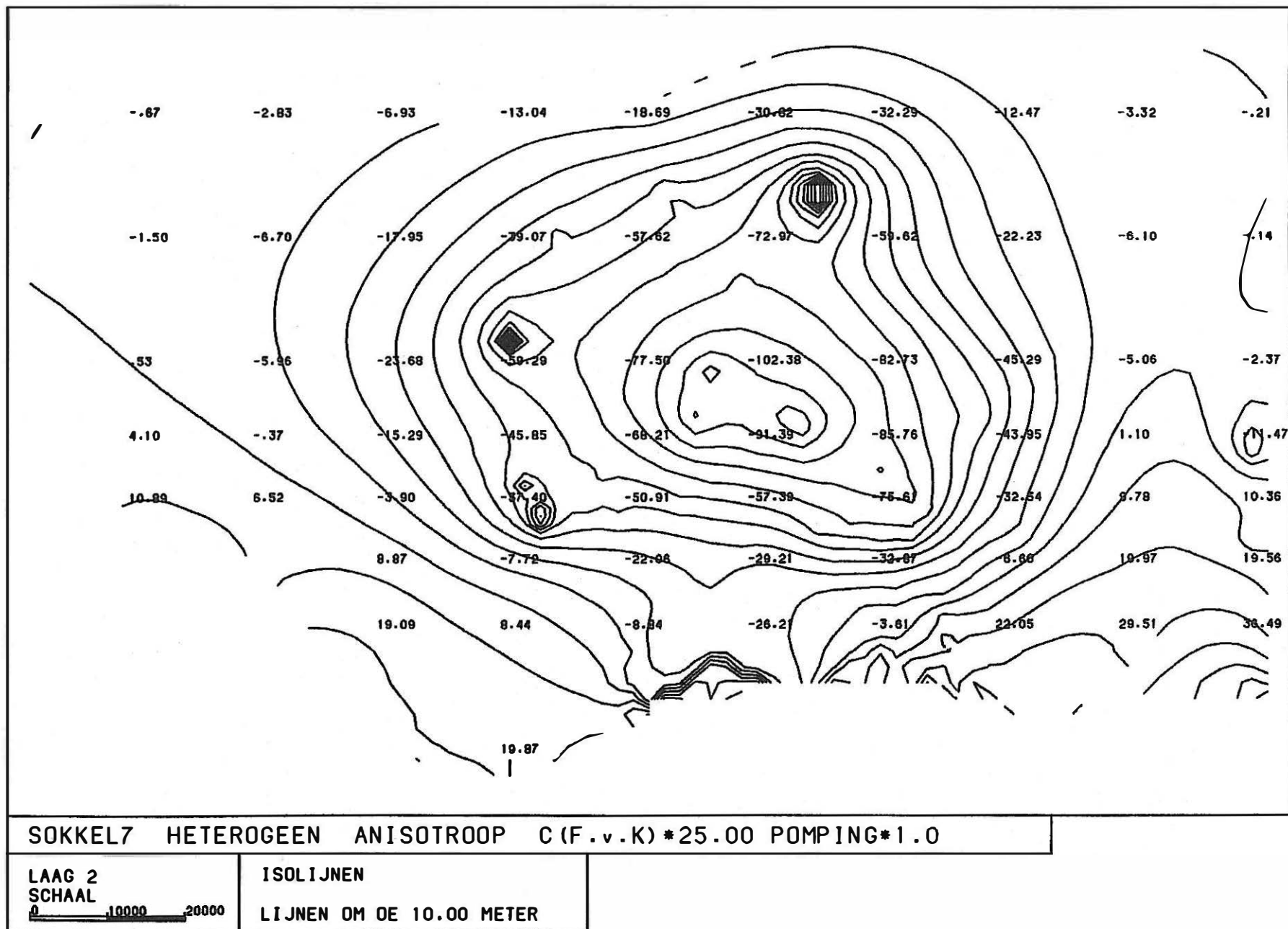


Fig. 25

Berekende hydraulische stijghoogten van de watervoerende laag in de zanden van de Landen Groep. De hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk berekend volgens vergelijkingen (9) en (11) wordt vermenigvuldigd met een factor 25.0. De sokkel wordt beschouwd als een lateraal anisotroop medium.

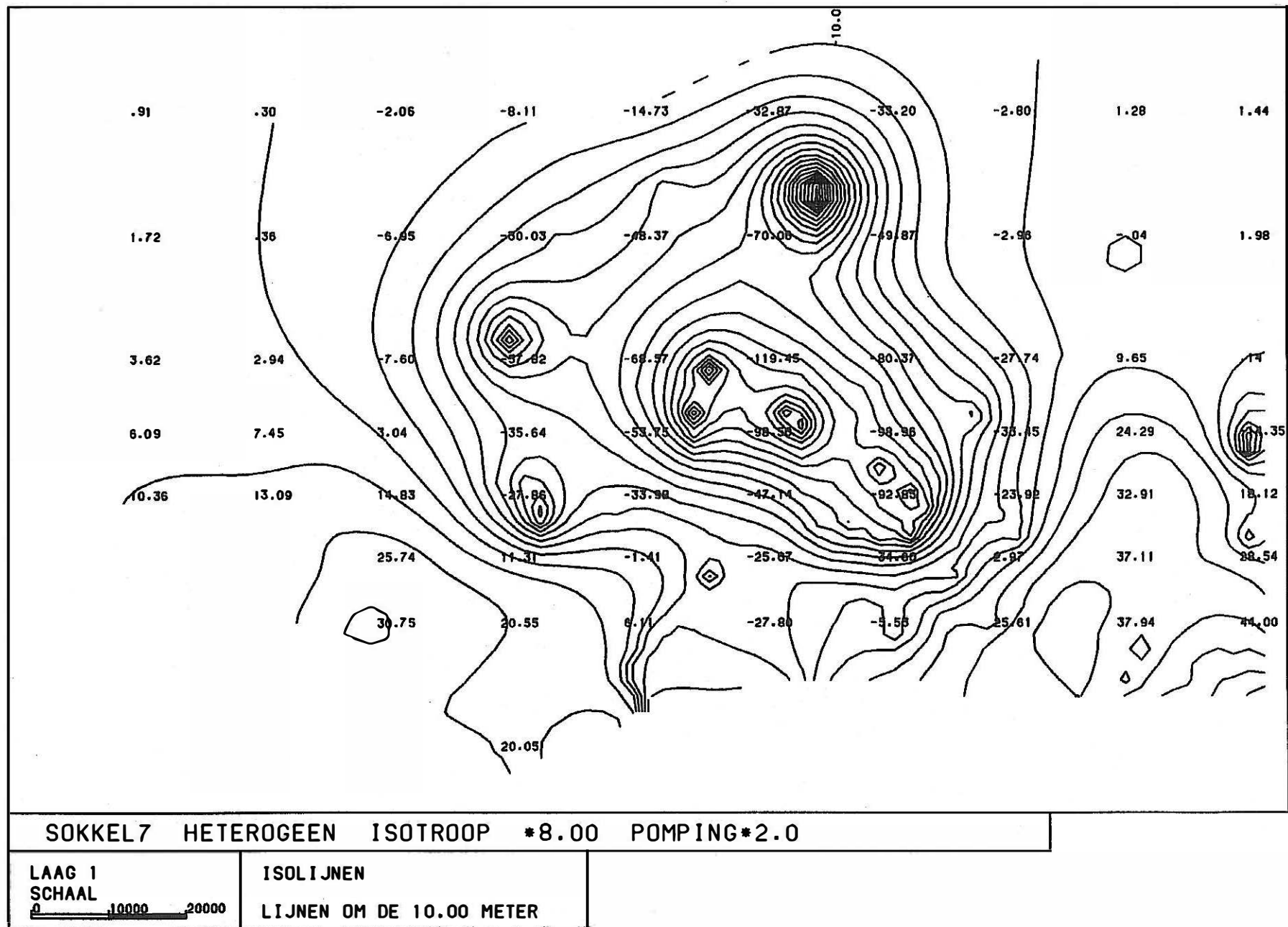


Fig. 26 Berekende hydraulische stijghoogten van de sokkel. De hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk berekend volgens vergelijkingen (9) en (11) wordt hier vermenigvuldigd met een factor 8.0 . De sokkel wordt beschouwd als een heteroogeen lateraal isotroop medium. De ingeschatte pompingen worden met een factor 2.0 vermenigvuldigd.

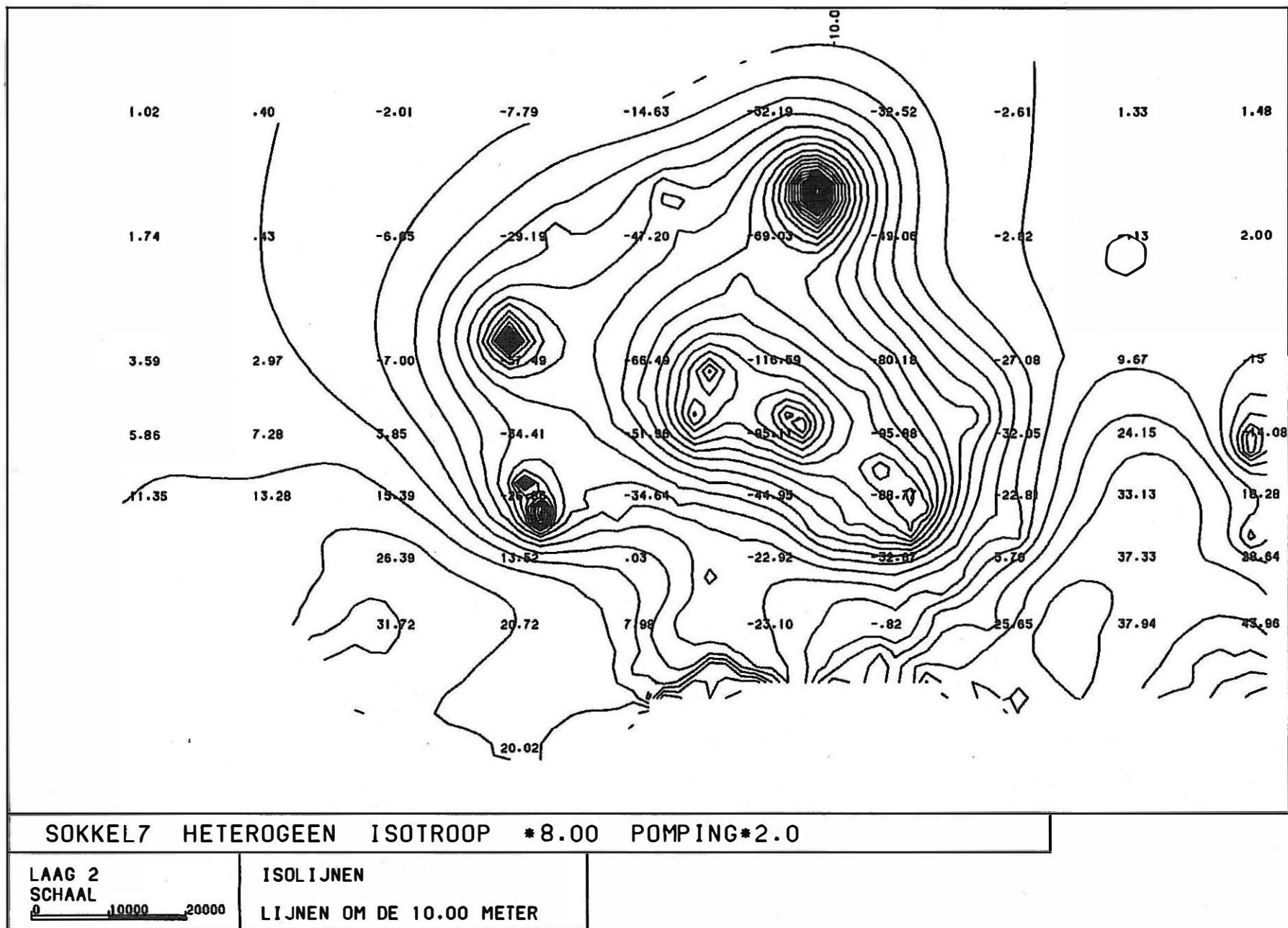


Fig. 27

Berekende hydraulische stijghoogten van de watervoerende laag in de zanden van de Landen Groep. De hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk berekend volgens vergelijkingen (9) en (11) wordt vermenigvuldigd met een factor 8.0. De sokkel wordt beschouwd als een heterogeen lateraal isotroop medium. De ingeschatte pompings worden met een factor 2.0 vermenigvuldigd.

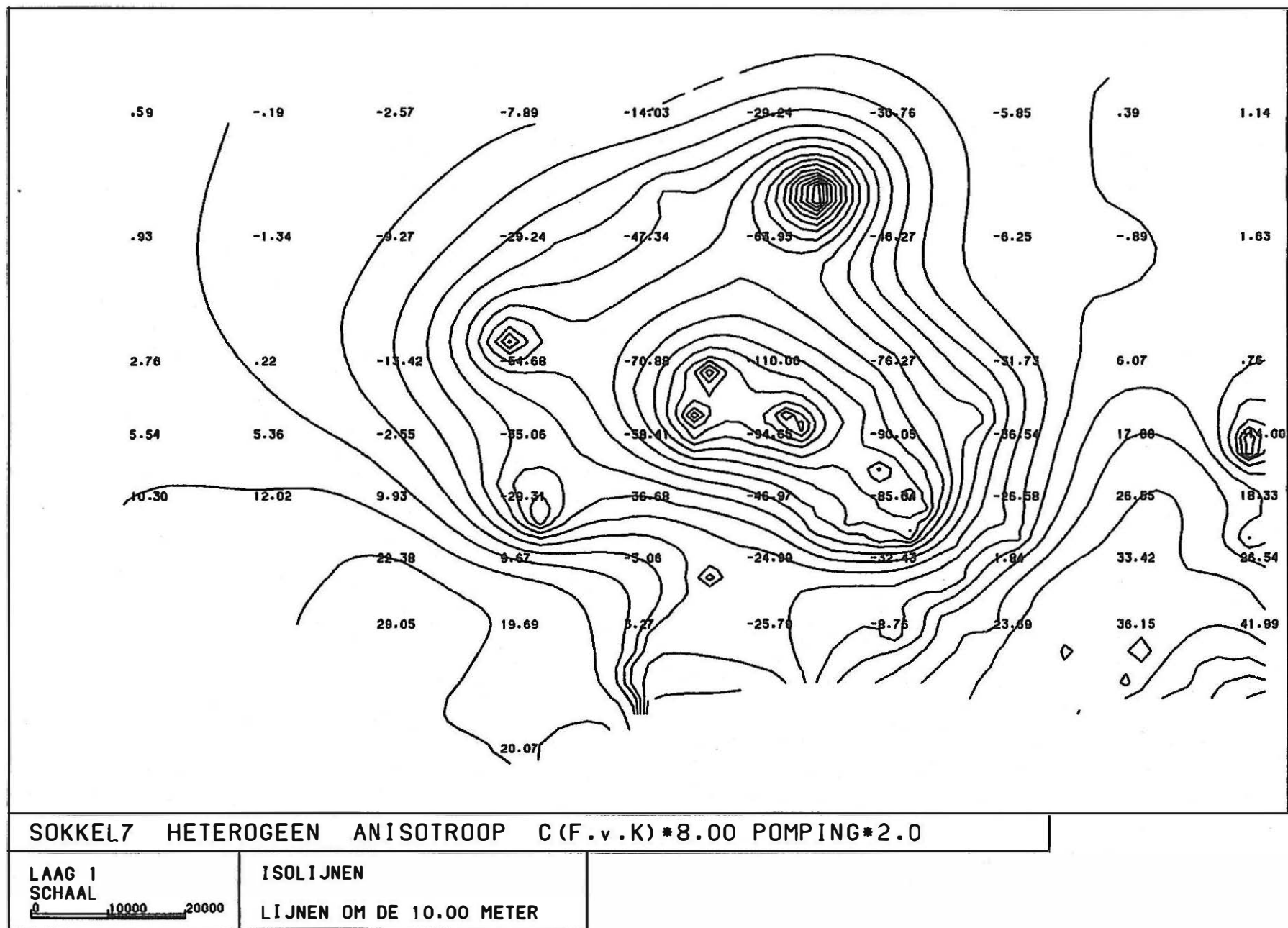


Fig. 28

Berekende hydraulische stijghoogten van de sokkel waarbij de hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk berekend volgens vergelijkingen (9) en (11) wordt vermenigvuldigd met een factor 8.0 . De sokkel wordt beschouwd als een heteroogeen lateraal anisotroop medium. De ingeschatte pompings worden met een factor 2.0 vermenigvuldigd.

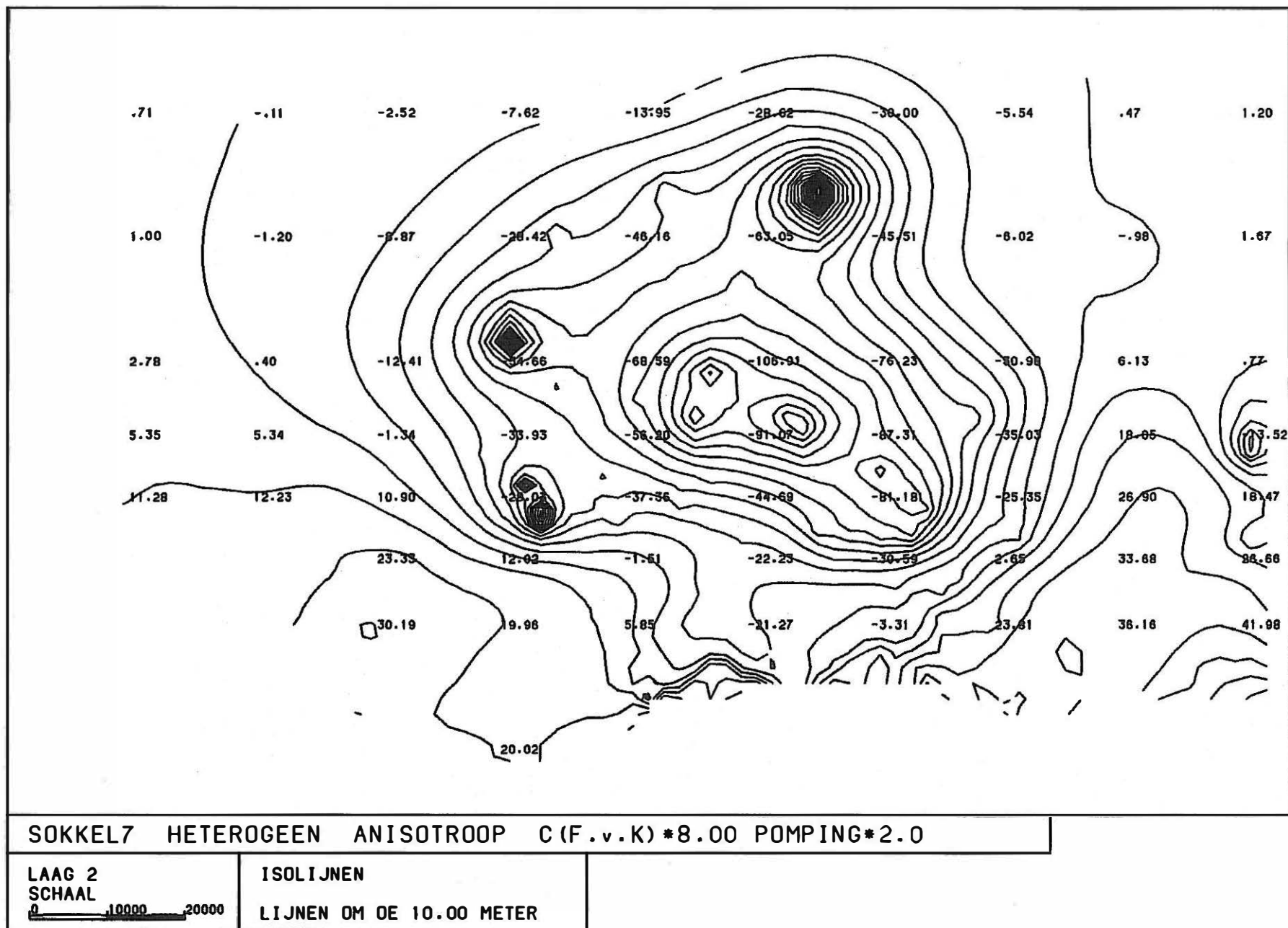


Fig. 29

Berekende hydraulische stijghoogten van de watervoerende laag in de zanden van de Landen Groep. De hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk berekend volgens vergelijkingen (9) en (11) wordt vermenigvuldigd met een factor 8.0. De sokkel wordt beschouwd als een lateraal anisotroop medium. De ingeschatte pompelingen worden met een factor 2.0 vermenigvuldigd.

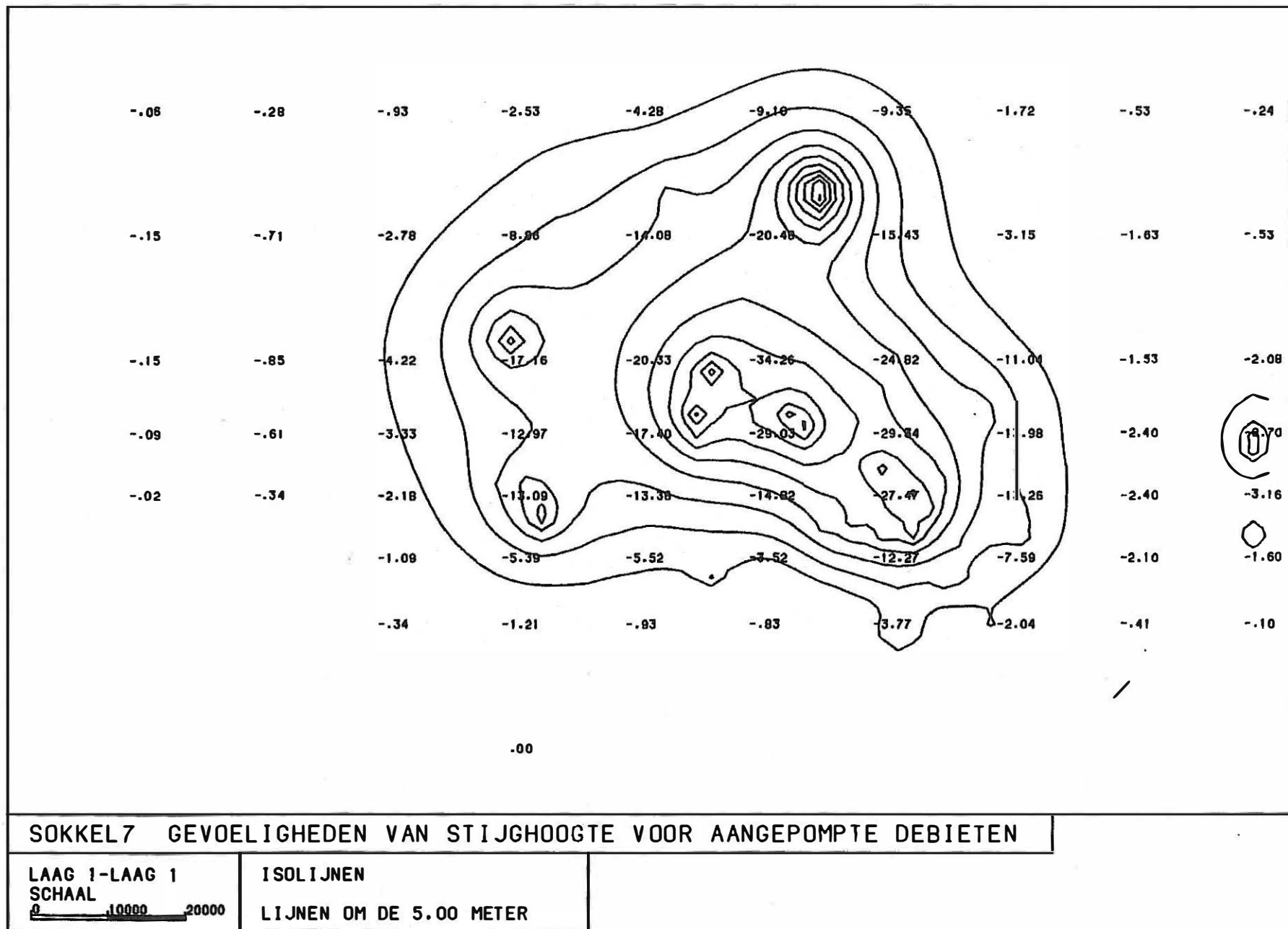
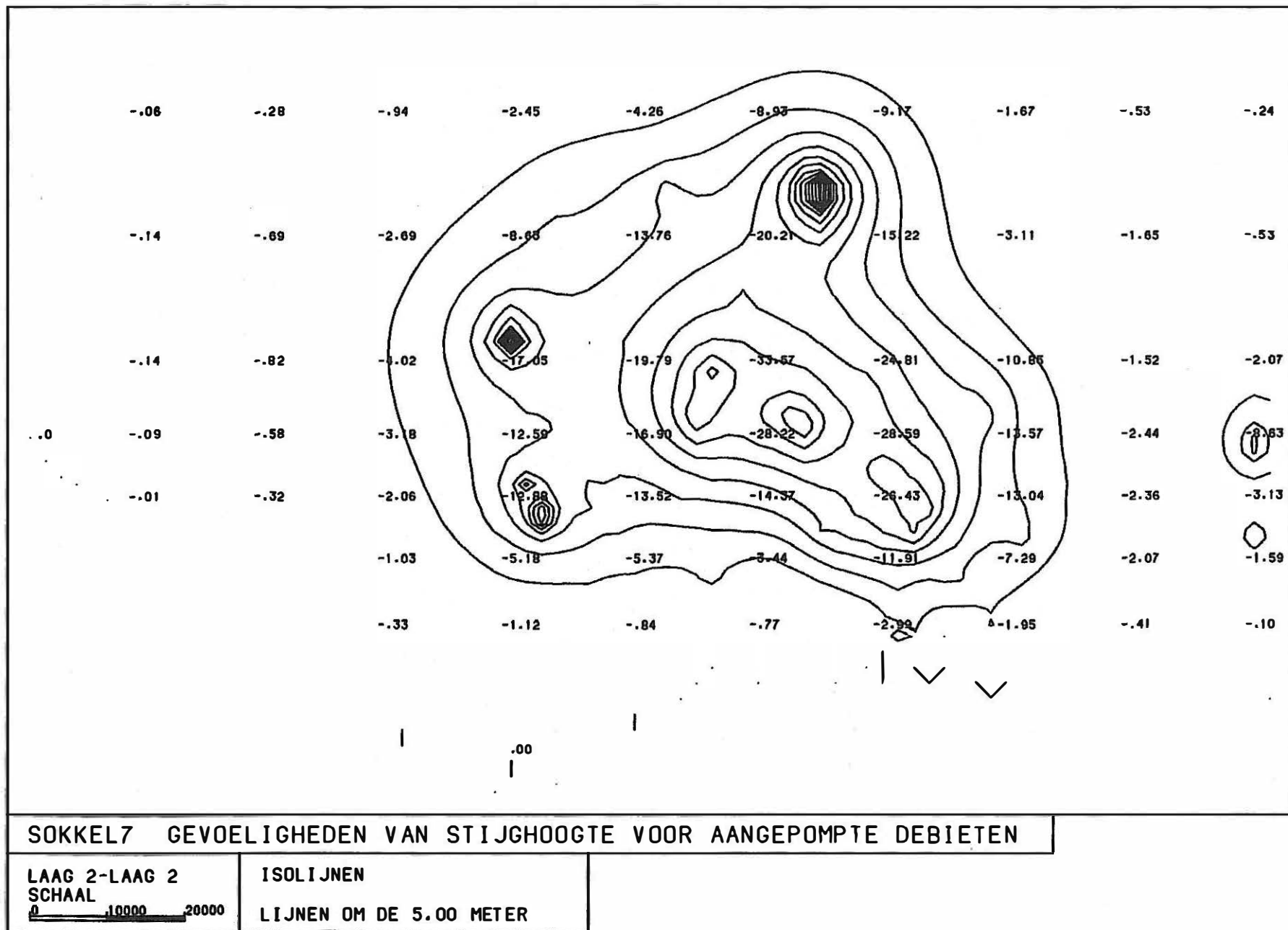


Fig. 30 Gevoeligheid van de berekende stijghoogten van Laag 1 voor de aangepompte debieten.





**Fig. 31** Gevoeligheid van de berekende stijghoogten van Laag 2 voor de aangepompte debieten.

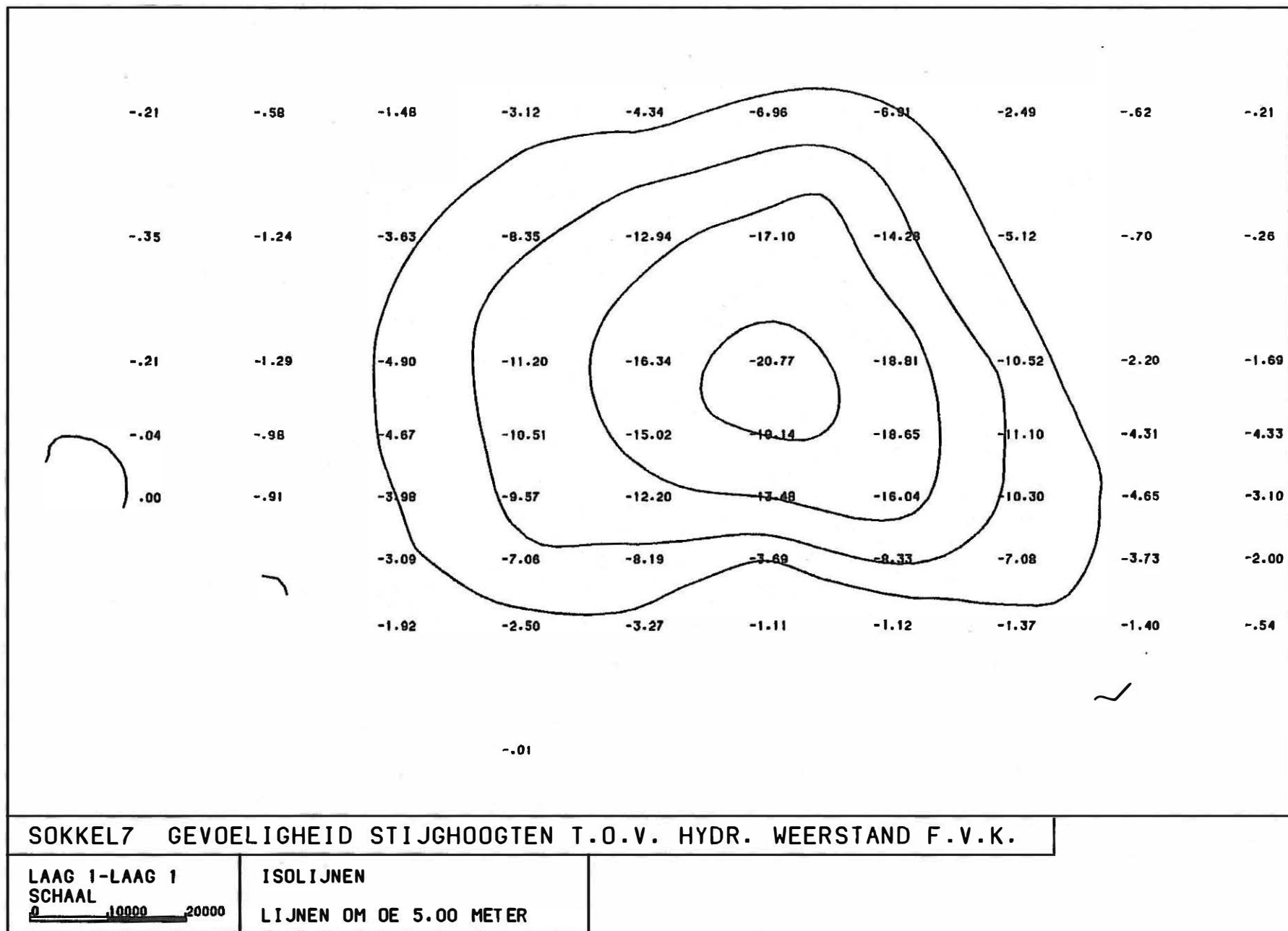
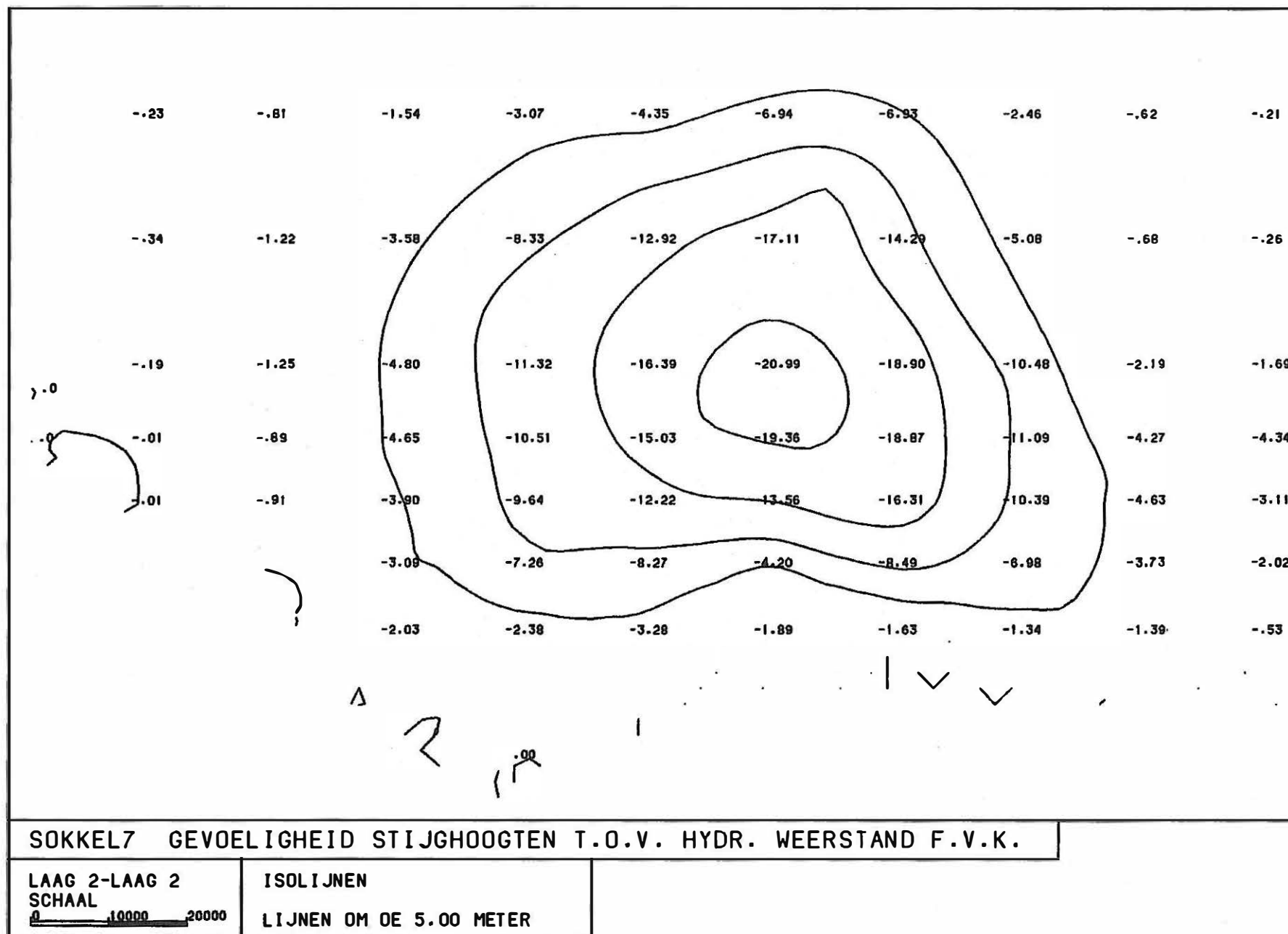
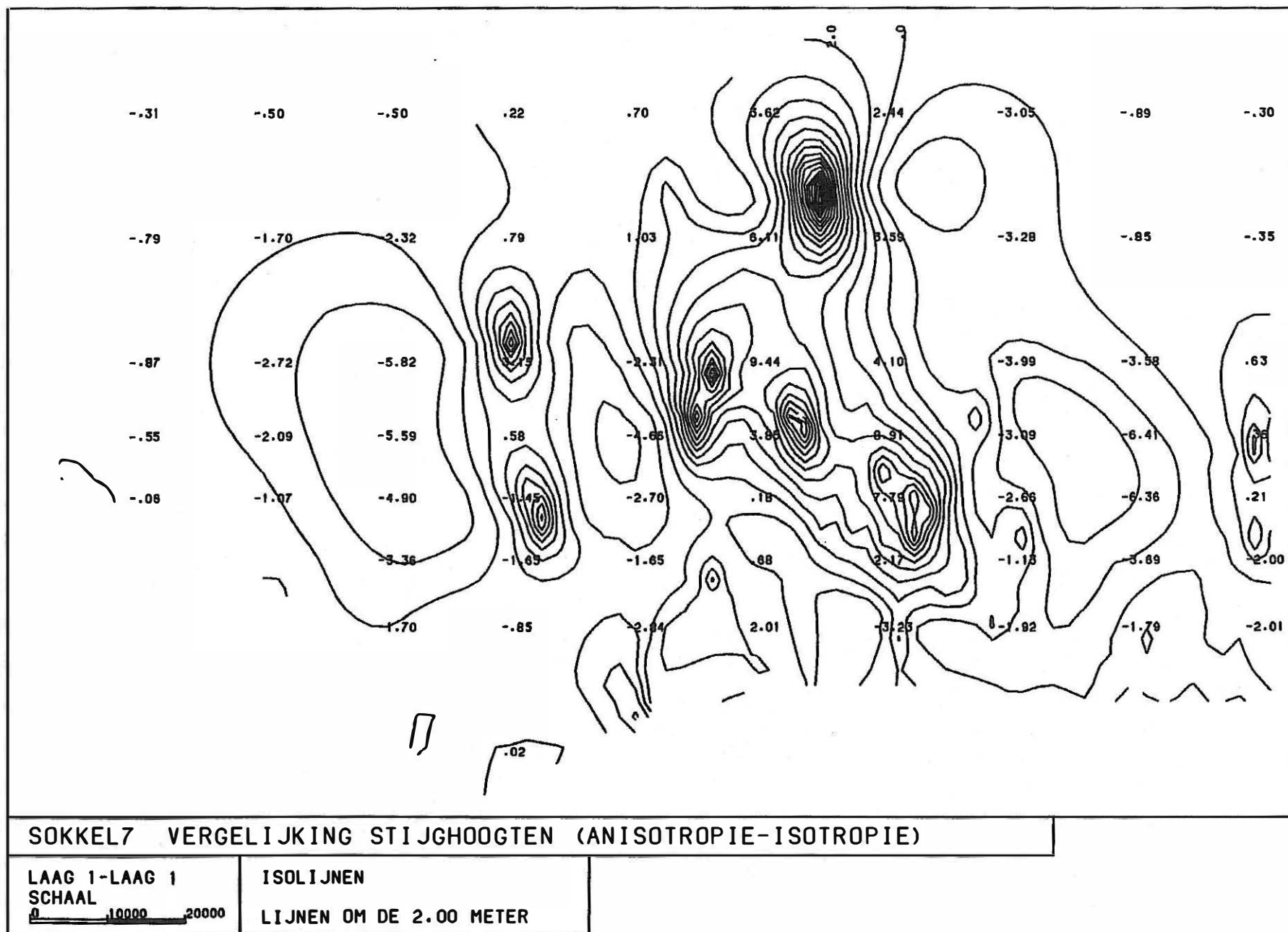


Fig. 32

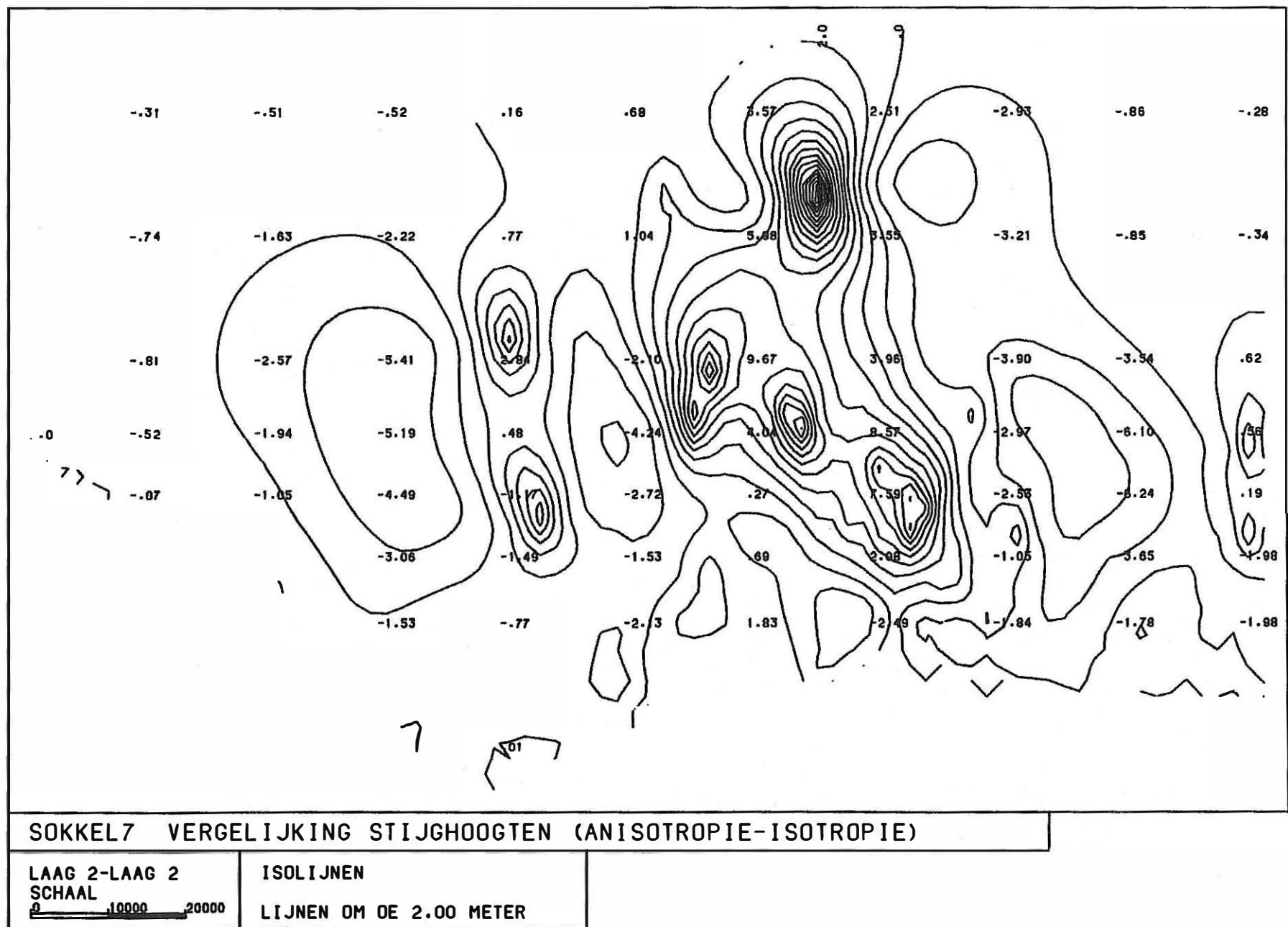
Gevoeligheid van de berekende stijghoogten van Laag 1 voor de hydraulische weerstand van de Formatie van Kortrijk of de horizonten B en C van het numeriek model.



**Fig. 33** Gevoeligheid van de berekende stijghoogten van Laag 2 voor de hydraulische weerstand van de Formatie van Kortrijk of de horizonten B en C van het numeriek model.



**Fig. 34** Verschil tussen de berekende stijghoogten van Laag 1 bij twee simulaties. Bij de eerste simulatie wordt de sokkel beschouwd als een heterogeen lateraal anisotrope laag; bij de tweede simulatie als een heterogeen lateraal isotrope laag.



**Fig. 35** Verschil tussen de berekende stijghoogten van Laag 2 bij twee simulaties. Bij de eerste simulatie wordt de sokkel beschouwd als een heteroogeen lateraal anisotrope laag; bij de tweede simulatie als een heteroogeen lateraal isotrope laag.

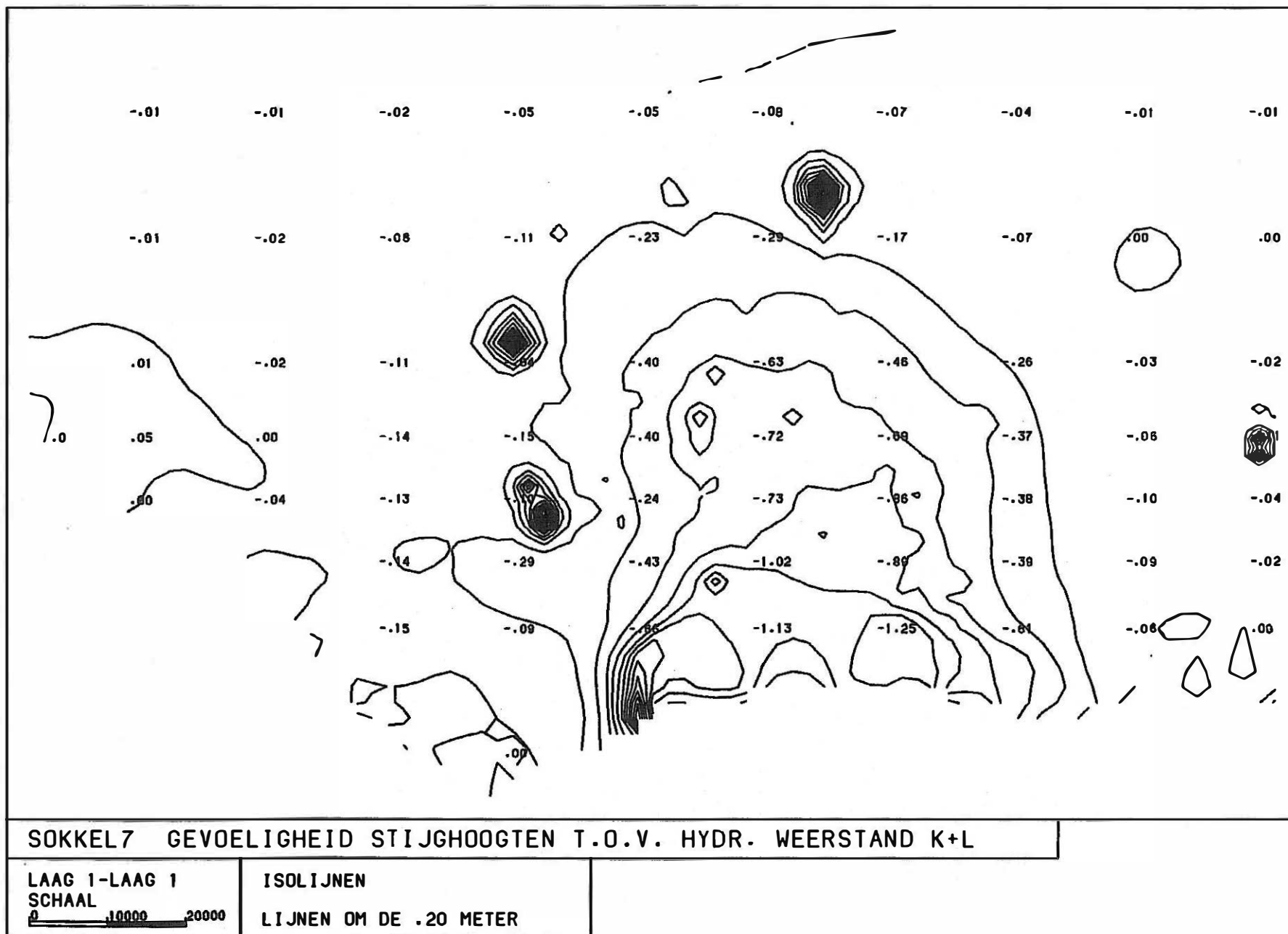


Fig. 36

Gevoeligheid van de berekende stijghoogten van Laag 1 voor de hydraulische weerstand van de ongespleten krijtafzettingen en de kleiafzettingen van de Landen Groep.



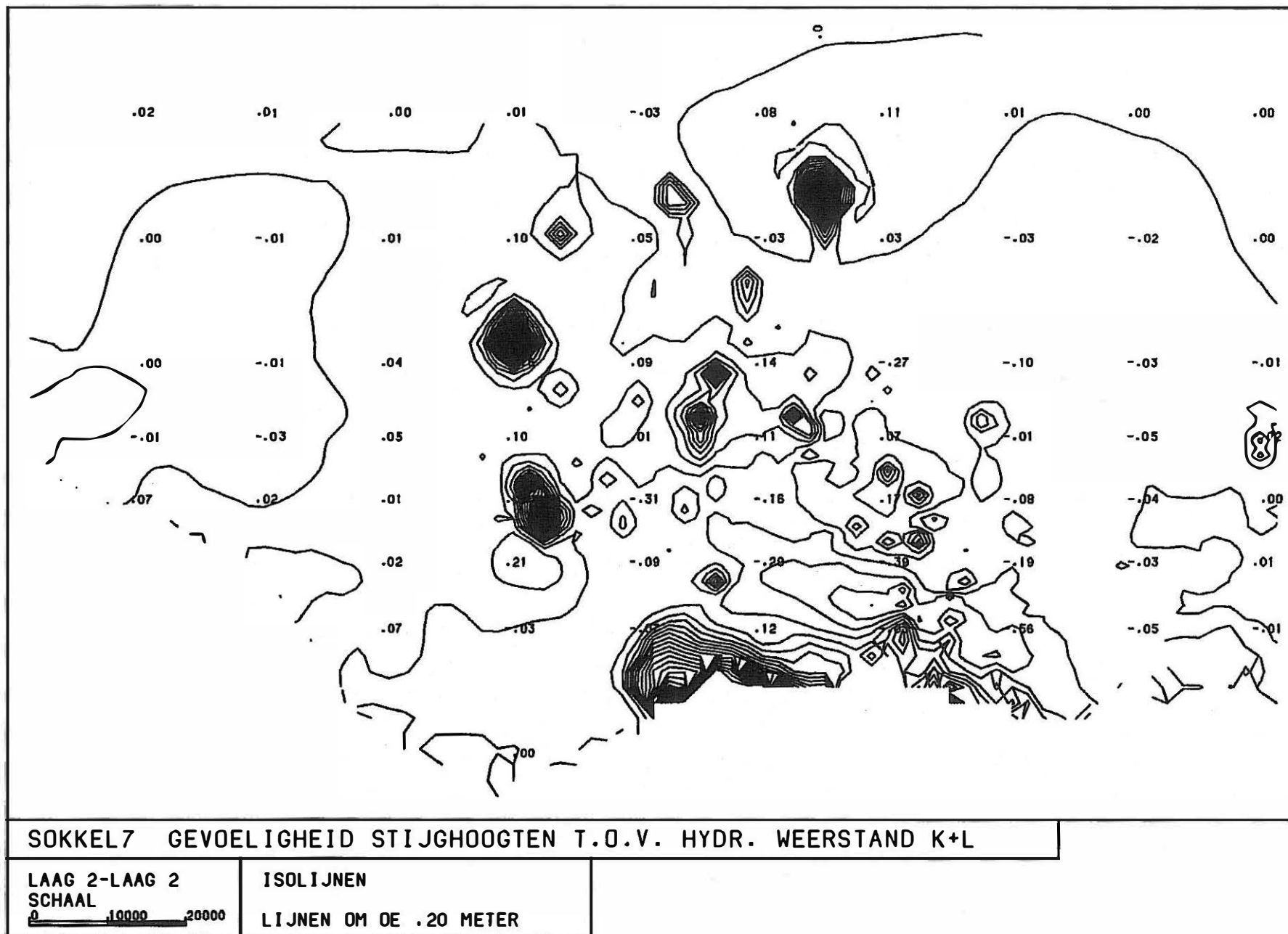


Fig. 37

Gevoeligheid van de berekende stijghoogten van Laag 2 voor de hydraulische weerstand van de ongespleten krijtafzettingen en de kleiafzettingen van de Landen Groep.

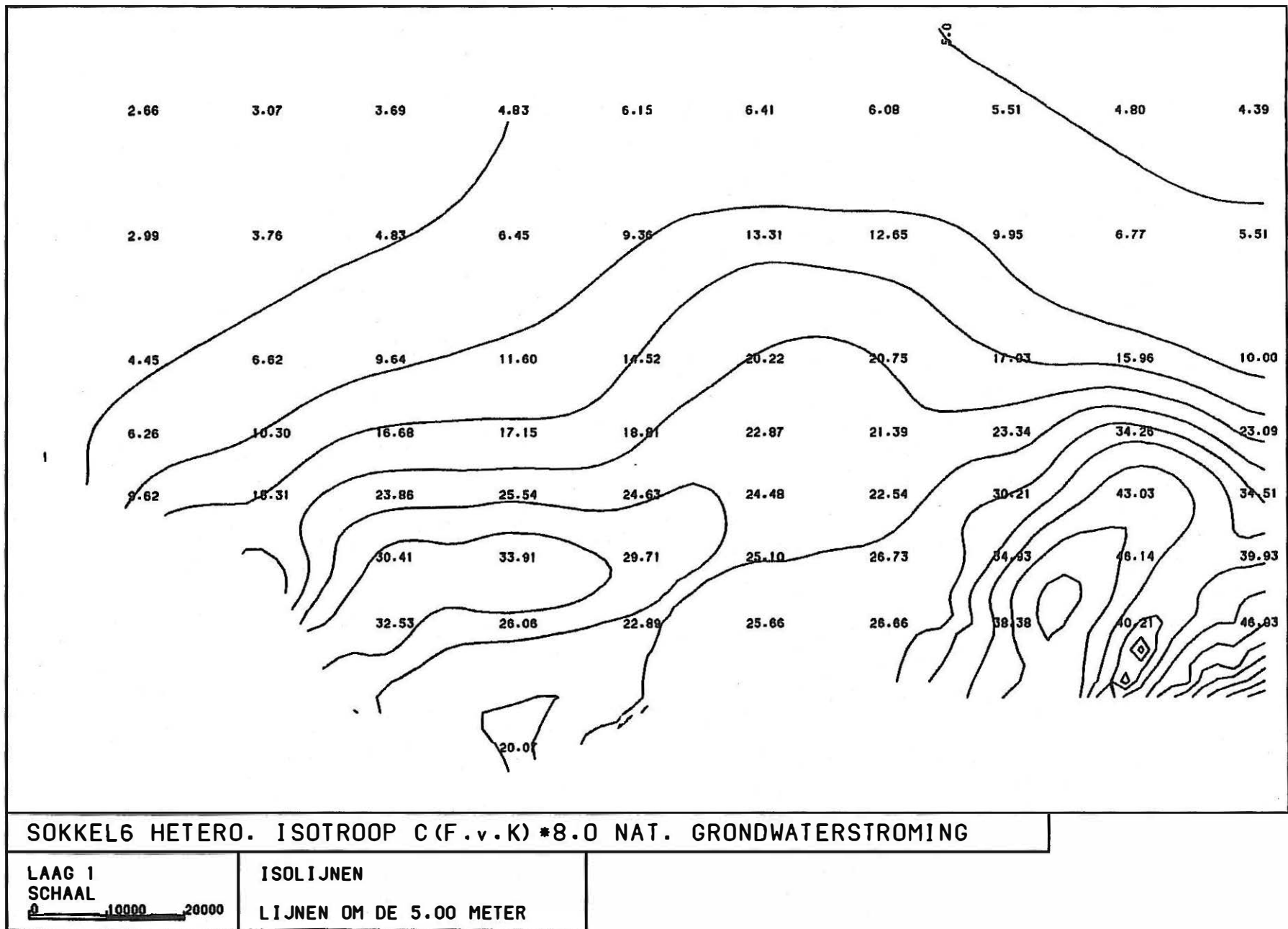


Fig. 38

Berekende hydraulische stijghoogten van de sokkel zonder pomping. De hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk berekend volgens vergelijkingen (9) en (11) wordt vermenigvuldigd met een factor 8.0. De sokkel wordt beschouwd als een heterogeen lateraal isotroop medium.

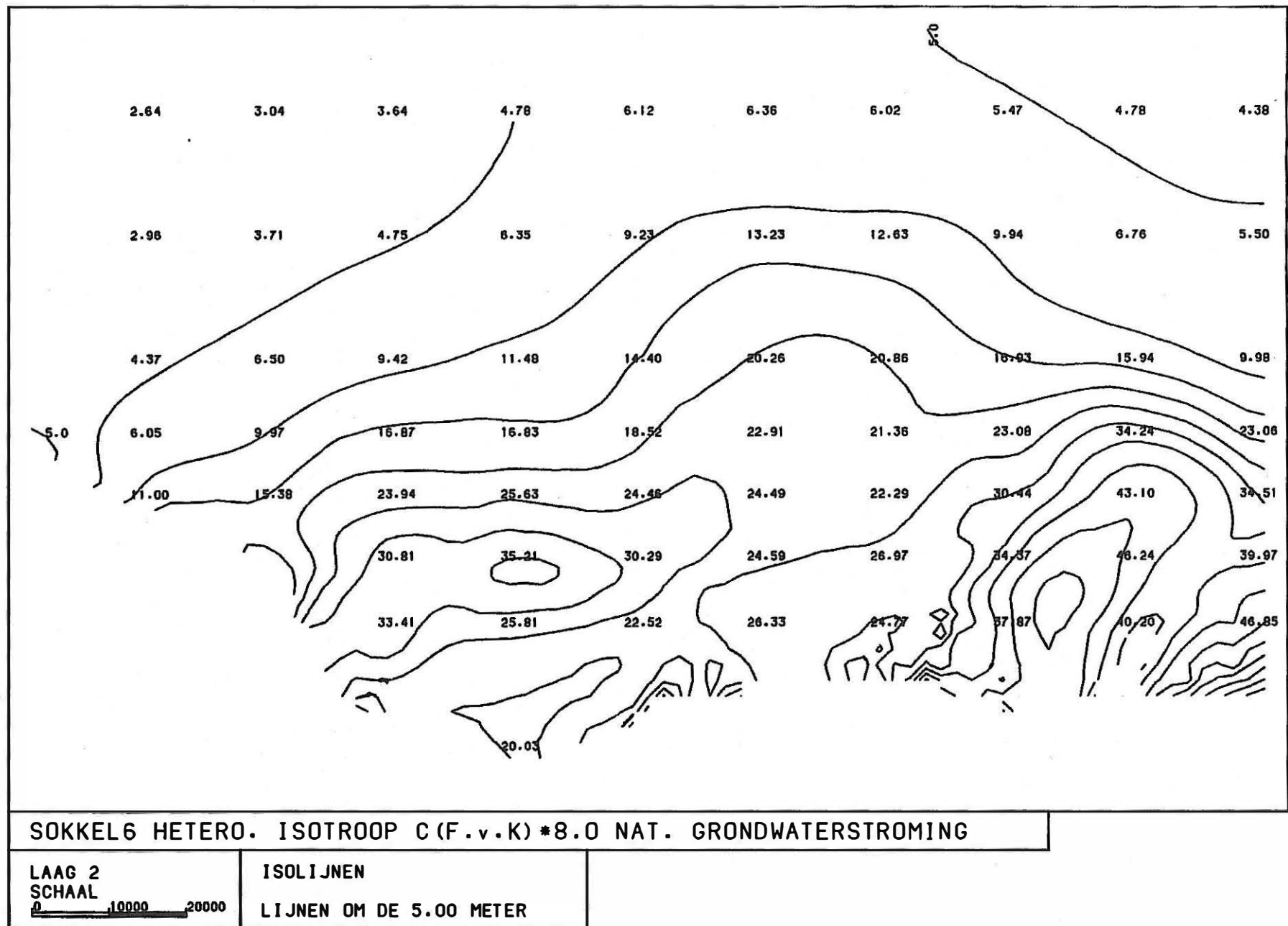


Fig. 39

Berekende hydraulische stijghoogten van de watervoerende laag in de zanden van de Landen Groep zonder pompings. De hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk berekend volgens vergelijkingen (9) en (11) wordt vermenigvuldigd met een factor 8.0. De sokkel wordt beschouwd als een heterogeen lateraal isotroop medium.

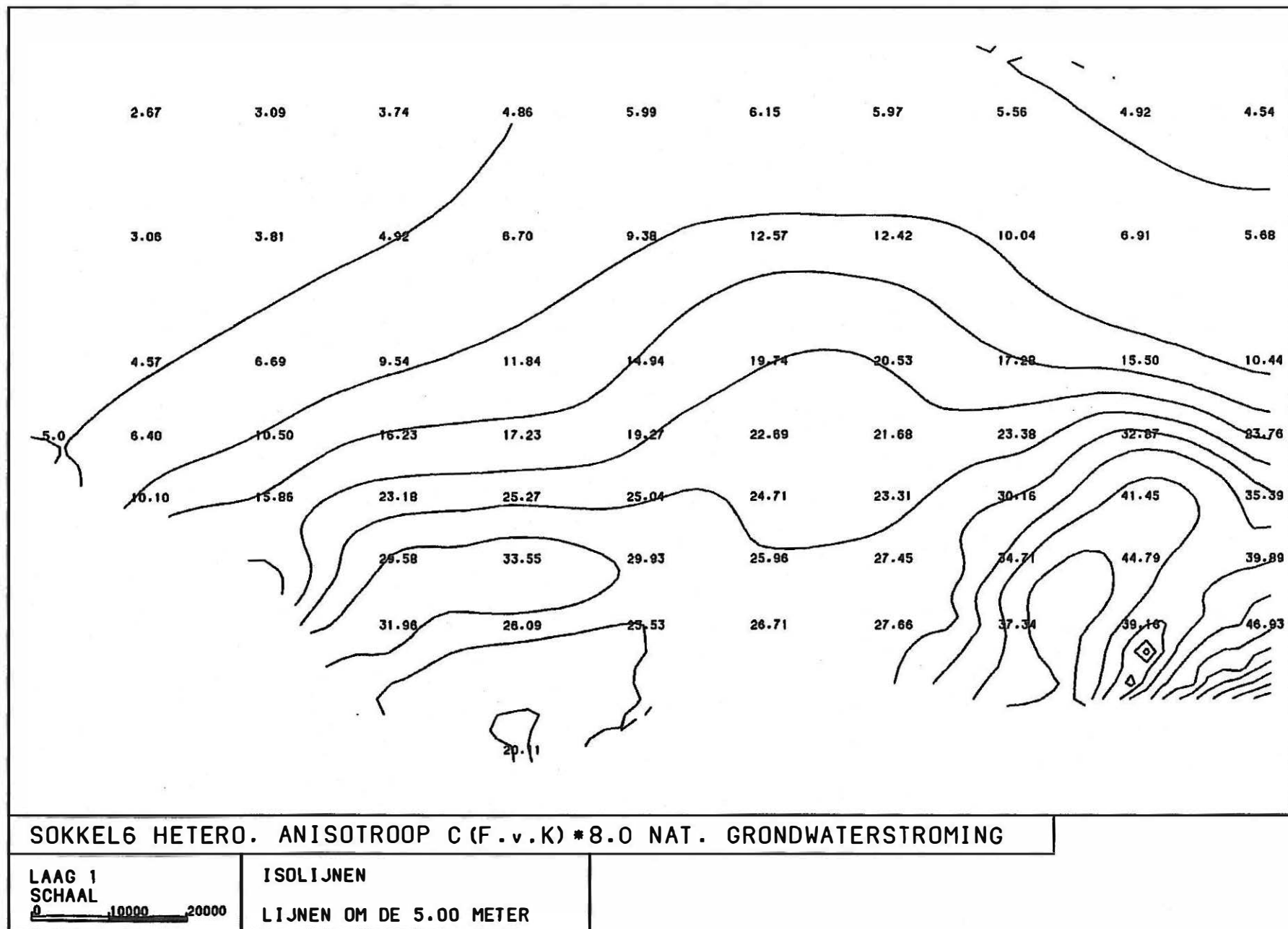
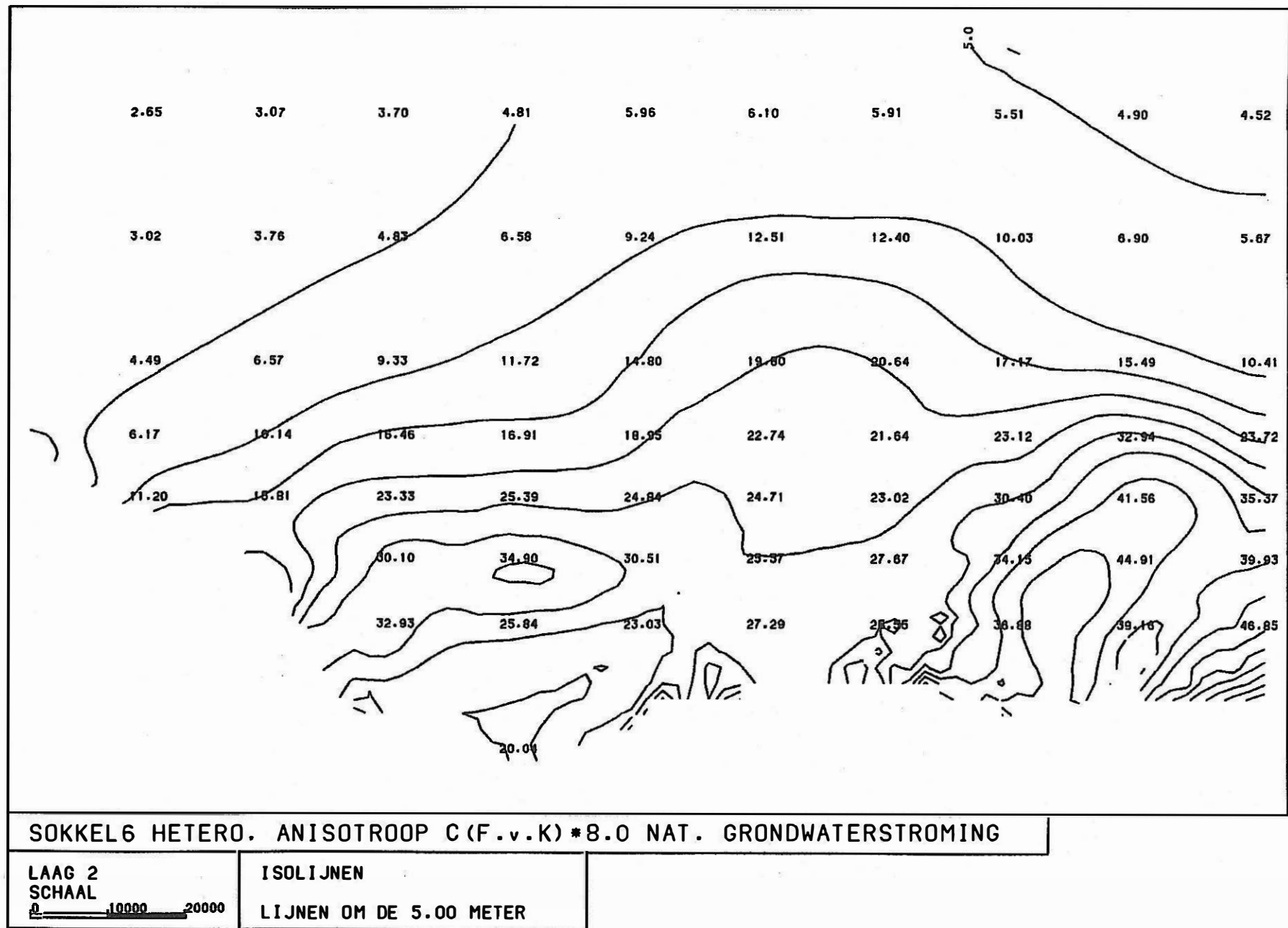


Fig. 40

Berekende hydraulische stijghoogten van de sokkel zonder pompingen waarbij de hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk berekend volgens vergelijkingen (9) en (11) wordt vermenigvuldigd met een factor 8.0. De sokkel wordt beschouwd als een heterogeen lateraal anisotroop medium.



**Fig. 41**

Berekende hydraulische stijghoogten van de watervoerende laag in de zanden van de Landen Groep zonder pompingen. De hydraulische weerstand van de klei van de Formatie van Kortrijk berekend volgens vergelijkingen (9) en (11) wordt vermenigvuldigd met een factor 8.0. De sokkel wordt beschouwd als een lateraal anisotroop medium.